

V TOMTO SEŠITĚ

TESTING '90	81
INTEGROVANÉ OBVODY ZEMÍ RVHP VIII	
Operační zesilovače BIFET	
Operační zesilovače se vstupem	
FET	82
Rychlost	83
Vstupní impedance	84
Operační zesilovače B080D, 81D, 82D, 83D, 84D	85
Elektrické vlastnosti	88
Operační zesilovače BIFET s ma- lým příkonem	
Operační zesilovače B060D, 61D, 62D, 64D a 66D	89
Programování operačního zesilovače B066D	91
Elektrické vlastnosti	92
Provozní doporučení	93
Slučitelnost řad B080D a B060D	93
Příklady zapojení operačních zesilovačů BIFET	96
Bipolární operační zesilovače	
Operační zesilovač ULY7701N	102
Doporučená zapojení	103
Širokopásmový stejnosměrný operační zesilovač	
μA702PC	104
Typická doporučená zapojení	105
Operační zesilovače řad KR140UD1 a K1UT401	106
Velmi rychlý operační zesilovač μA715PC	108
Dvojitý operační zesilovač μA739PC	109
Dvojitý operační zesilovač μA749PC	111
Přesný operační zesilovač μA777PC	112
16kanálové běžící světlo	116
Praktická elektronika (dokončení z AR B3/90)	117
Inzerce	119

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává vydavatelství NAŠE VOJSKO, s. p., Vladislavova 26, 135 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7. Šéfredaktor ing. Jan Klabal, Redakční radu řídí ing. J. T. Hyán. Redaktor L. Kalousek, OK1FAC. Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7, šéfredaktor linka 354, redaktor linka 353, sekretářka linka 355. Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 6 Kčs, pololetní předplatné 18 Kčs. Rozšiřuje PNS, v jednotlivých obzbojených sil vydavatelství NAŠE VOJSKO, administrace Vladislavova 26, Praha 1. Informace o předplatném podá a objednávkou přijímá každá administrace PNS, pošta, doručovatel a předplatitelská střediska. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS - ústřední expedice a dovoz tisku Praha, administrace vývozu tisku, Koupkova 26, 160 00 Praha 6. Tiskne NAŠE VOJSKO, s. p., závod 08, 160 00 Praha 6, Vlastní ulice č. 889/23. Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor. Návštěvy v redakci a telefonické dotazy po 14. hodině. Číslo indexu 46 044. Toto číslo má vyjít podle plánu 7. 6. 1990. © Vydavatelství NAŠE VOJSKO.

TESTING '90

27. února až 1. března letošního roku proběhlo sympóziium a výstava elektronických měřících přístrojů a systémů, které pořádala rakouská firma ELSINCO GmbH v pražském hotelu Intercontinental. Tato firma zastupuje několik předních světových výrobců elektronických zařízení – o jejich výrobních programech a některých výrobcích pojednávaly i přednášky na sympóziu (Změny u KIKUSUI, nové výrobky s novými vlastnostmi – ředitel I. Myoshi; Měření odolnosti elektrických spotřebičů vůči poruchám a kolísání sítě, M. Sizuki, Kikusui Europe; Řízení elektronické zátěže Kikusui, F. Le-witch, ředitel Elsinco; Rychlé a přesné vř měření s analyzátozem Anritsu, H. Reischer, Elsinco; Automatická spektrální analýza do 2,2 GHz, H. Reischer, Elsinco; Měření optických vláken, P. Scheibreithner, Elsinco).

Na výstavce byly předváděny měřící přístroje a systémy firem Anritsu, Audio Precision, Kikusui a Magni, z nichž tři zajímavé jsou na obrázcích na protější straně obálky. ● 1 ● Optický reflektometr s velkou rozlišovací schopností, typ MW 920A firmy Anritsu, je navržen pro velmi přesná měření na velké vzdálenosti a na lokalizaci poruch a mimotolerančních útlumů jak na dálkových spojovacích kabelech, tak i v místních podmínkách sítě LAN, optických vedení uvnitř budov, vláknů, letadel nebo lodí.

Velmi velká rozlišovací schopnost až 10 cm je umožněna velmi úzkou mrtvou zónou (3 m pro vlákna GI a 8 m pro vlákna monomodová). Navíc je tento velmi moderní a všestranný reflektometr vybaven zásuvnými jednotkami podle jednotlivých optických délek, možností velmi rychle vykalkulovat střední hodnotu a funkcí optické masky (pro vlákna SM).

Zásuvné optické jednotky jsou k dispozici pro vlnové délky 0,85 μm GI, 1,3 μm GI i SM. Vnitřní paměť přístroje, zálohovaná baterií, umožňuje zaznamenat až 5 úplných souborů výsledků nebo nastavení přístroje.

Přes uvedené vlastnosti vyniká přístroj malými rozměry a malou hmotností (13 kg), čímž je předurčen i k práci v „polních“ podmínkách. Plně vyhovuje požadavkům vývoje i výzkumu, lze jej používat s výhodou např. při instalacích i opravách optických tras.

Standardní výbavu je i interface GP-IB, umožňující připojit přístroj do automatizovaného souboru. Vestavěná tiskárna umožní kdykoli pořídit hard-copy obrazovky se všemi údaji.

● 2 ● Spektrální analyzátor MS 2601A/J je špičkový spektrální analyzátor pro nejvyšší měření. Jde o kompaktní přístroj se snadnou obsluhou, který odpovídá především současným vysokým nárokům při výrobě elektronických zařízení.

Velká rychlost měření a množství automatických operací jsou umožněny použitím digitálních obvodů a syntezovaného místního oscilátoru. Jednou ze zajímavých možností je automatická kalibrace. Analyzátor je vybaven standardně jednotkou paměťových karet, PMC. Ty umožňují uložit až 48 programů (výsledkových souborů nebo měřících rutin) a umožňují tak plně využít vnitřní počítač a automatizovat měření.

MS 2601A/J je charakterizován velkým dynamickým rozsahem (>75 dB). Jeden ze tří patentů uplatněných při konstrukci přístroje umožnil měřit v oblasti vymezené dvěma značkami (markery), což dovoluje měřit špičkové hodnoty signálů s přesností lepší než 0,03 dB ve velmi krátkém čase.

Přístroj se kalibruje zcela samočinně použitím referenčního signálu. To zlepšuje přesnost měření zhruba o jednu třetinu. Celková

chyba měření nedosahuje potom hodnot větších než 1 dB.

Přístroj využívá syntezovaného místního oscilátoru, řízeného velmi stabilním krystalem. Generovaný signál vyniká dlouhodobou stabilitou (5×10^{-8} /den). Výborný a „čistý“ signál umožňuje tedy bez problému měřit s přesností rozlišení 30 Hz v celé šířce pásma (2,2 GHz). I tento spektrální analyzátor lze řídit pomocí paměťových karet, PMC. Jedna taková karta umožňuje (má kapacitu 128 kB) uložit 48 různých podmínek měření – nastavení čelního panelu nebo výsledkových datových souborů. Jednotlivá nastavení lze snadno z karty vyvolat; celé řídicí sekvence pro měření lze snadno sestavit z jednotlivých povelů.

Programové soubory k řízení spektrálního analyzátoru jsou v programovacím jazyce BASIC. Celý řídicí program (ATE – Automatic Test Equipment) lze snadno sestavit bez použití vnějšího počítače. Naopak programy vytvořené pro jiné počítače lze jednoduše převést do vnitřní paměti jednotky PTA – Personal Test Automation) a programy sestavené pomocí této jednotky přímo na spektrálním analyzátoru přechovávat v jiném počítači. Také jiná zařízení vybavená sběrnici GP-IB mohou být řízena vnitřním počítačem spektrálního analyzátoru po této sběrnici.

● 3 ● Obvodový (Network) analyzátor, MS 3606A. Oblast elektroniky zaznamenává nyní mimořádný rozvoj. Objevují se zcela nové aplikace jako mobilní digitální komunikační jednotky (autotelefon, autotelefax) nebo audiovizuální zařízení s velkou rozlišovací schopností – televize HDTV. Tim vystává potřeba jakostnějších součástek, spolehlivějších elektronických obvodů, lepších materiálů apod. Za těchto okolností jsou obvodové analyzátoři základní pomůckou k měření přenosových vlastností, odrazů, impedančních charakteristik apod. Lze je používat jak ve výzkumu a vývoji, tak ve výrobě i ve zkušebnách.

Z řady analyzátorů firmy Anritsu poslední typ, MS 3606A, je určen pro velmi rychlá měření pomocí plně syntezovaného zdroje měřícího signálu. Měřicí rozsah přístroje je 10 kHz až 1 GHz. Svými vlastnostmi patří mezi světovou špičku v oblasti elektroniky a telekomunikací, v nichž se vyžadují velmi rychlá měření až do 400 μs/dílek s dynamickým rozsahem 120 dB. Tento dynamický rozsah je dán eliminací vlastního šumu a umožňuje měřit útlumové vlastnosti i speciálních filtrů, používaných např. v mobilních telefonech nebo v audiovizuální technice. Aktivní částí měřícího přístroje je generátor-syntezátor, jehož výstup je vždy spínán na dobu 150 μs. Spolu s velmi krátkou dobou zpracování naměřených výsledků to umožňuje měřit velmi rychle (400 μs/díl.). Nastavitelné zpoždění může být měněno v 21 kroku v rozsahu 100 ns až 400 ms s možností rozlišení 1/10 000 nastaveného rozsahu. Skalární analýza umožňuje velmi přesně měřit charakteristiky tunerů, konvertorů CATV a dalších zařízení, která mají na vstupu a výstupu signály rozdílných kmitočtů.

Na závěr stručně základní vlastnosti přístroje.

Měřené veličiny: amplituda (vektorově), amplituda (skalárně), fáze, skupinové zpoždění a jejich kombinace.

Kmitočtový rozsah: 10 kHz až 1 GHz.

Rozlišovací schopnost: 1 mHz.

Nastavitelná šířka pásma: 300 Hz, 1 kHz, 3 kHz, 10 kHz, 1 GHz.
Skalární vstup: -50 až +10 dBm.
Měření amplitudy: 120 dB, přesnost 0,01 dB.

Fázové měření: ± 180 deg., přesnost 0,01 deg.
Měření skupinového zpoždění: v rozsahu 100 ns až 400 ms, přesnost 1/10 000 nastaveného rozsahu.

Typ paměti: paměťová karta.
Způsob programování: PTA (viz text).
Interface: GB-IB (podle IEEE488).

L. K.

INTEGROVANÉ OBVODY ZEMÍ RVHP — VIII —

Vítězslav Stríž

Operační zesilovače BIFET

Smyslem různých technologií, které postupně vyvinuli výrobci integrovaných obvodů pro zajištění výroby operačních zesilovačů, byla snaha stále zlepšovat jejich elektrické vlastnosti. Přitom se ve zhuštěné formě zpětně promítaly ve výrobě operačních zesilovačů zkušenosti nabyté s výrobou logických obvodů TTL, LS TTL, ECL, paměťových obvodů bipolárních i unipolárních NMOS, PMOS, I^2L , jakož i speciálních analogových obvodů. Tím se dosáhlo podstatně zlepšených a výkonnějších operačních zesilovačů při optimálním poměru ceny a výkonosti.

Operační zesilovače, s nimiž jsme se dosud setkávali, jsou vyráběny první sériově používanou bipolární technologií. Ke zlepšení vlastností operačních zesilovačů používají světoví výrobci několik dalších technologií, jejichž přehled je uveden v tab. 1. Vývojové práce sice nepřinesly žádné revoluční zvraty v technologii výroby, avšak některé z nich, především technologie BIFET, představuje velký přínos uživatelům integrovaných obvodů, které jsou touto technologií vyrobeny.

Operační zesilovače se vstupem FET

Každý operační zesilovač vyžaduje k bezchybnému provozu stabilní vstupní klidový proud. Při návrhu zapojení s operačními zesilovači se proto musí počítat s touto skutečností. Vstupní klidový proud (nebo též předpětový proud) je definován jako střední hodnota obou vstupních proudů. Naproti tomu vstupní proudová nesymetrie je rozdíl vstupních klidových proudů při nulovém vstupním napětí operačního zesilovače.

Ze všech operačních zesilovačů, vyráběných bipolární technikou, má operační zesilovač $\beta M108$ řady (LM108) nejmenší vstupní proudy (typický vstupní klidový proud 800 pA, vstupní proudová nesymetrie jen 50 pA). Těchto malých vstupních proudů bylo dosaženo použitím speciálních, tzv. super-beta tranzistorů ve vstupním stupni. Ještě menších vstupních proudů je možno dosáhnout použitím plem řízených tranzistorů ve vstupním stupni.

První operační zesilovače se vstupem FET byly americké výrobky $\mu A740C$ firmy Fairchild a NE536T firmy Signetics. Oba mají ve vstupním stupni přechodové plem řízené tranzistory, které jsou integrovány na společném křemíkovém čipu se zbytkem zesilovače. Jejich vstupní proudová nesymetrie je 60 pA a 5 pA, vstupní odpor 10^{12} Ω

a 10^{14} Ω . Vstupní napětová nesymetrie uvedených zesilovačů je však v důsledku velké teplotní závislosti vstupní napětové nesymetrie (asi 30 $\mu V/K$) poměrně velká (typicky 30 mV, max. 110 mV, max. 110 mV a 90 mV). Ve srovnání s běžnými, bipolární technikou vyrobenými operačními zesilovači, jsou vlastnosti obou popsaných zesilovačů lepší o činitel 10 až 100.

Výroba výkonnějších monolitických operačních zesilovačů se vstupním stupněm FET byla zpočátku velmi obtížná a nákladná, protože přiřadit pár diskretních plem řízených tranzistorů do vstupního obvodu není vůbec jednoduché. Tranzistory se musí především vybírat na shodné vlastnosti, neboť jen tak je možné zaručit bezvadný provoz. Jednou z výrobních možností je možnost použít hybridní součástky, přičemž vstupní čip s vybranými tranzistory se použije ve stejném pouzdru s čipem zbytku hlavního zesilovače. Hybridní zesilovače tohoto typu se dodnes vyznačují výbornými provozními vlastnostmi, dodnes se vyrábějí a používají. Jejich nevýhodou je však poměrně velká cena, neboť při běžném uspořádání jsou vybrané čipy přivařeny na společnou podložku a navzájem propojeny poměrně složitým technologickým postupem. Firma National Semiconductor nabízí např. ve svém programu operační zesilovače s největší šířkou přenášeného pásma. U laserem trimovaného typu zesilovače LH0052 je vstupní proudová nesymetrie typicky 10 fA (tj. 0,01 pA) a vstupní klidový proud 500 fA při teplotě 25 °C. Všeobecně se dá říci, že nasazení hybridních operačních zesilovačů je vhodné

a hospodárné pouze tehdy, nejsou-li k dispozici monolitické zesilovače potřebných vlastností.

V posledních letech se rozšířily dva odlišné monolitické zesilovače s velmi malými vstupními proudy. Oba využívají vstupních stupňů s plem řízenými tranzistory, které jsou integrovány na společném čipu bipolární technikou jako hlavní zesilovač. Firma RCA používá u zesilovačů BIMOS na vstupu tranzistory MOS, jiný americký výrobce National Semiconductor používá u svých zesilovačů BIFET přechodové plem řízené tranzistory. Ve srovnání s dřívější výrobní technologií vyžaduje výrobní proces BIFET k výrobě párových plem řízených tranzistorů ve vstupním stupni náročný postup iontové implantace.

S výrobou operačních zesilovačů BIFET začal National Semiconductor v roce 1975. První řada zesilovačů LF155, LF156 a LF157 s širokým dovoleným rozsahem provozních teplot měla elektricky stejné hodnotné typy, určené pro použití v užším rozsahu provozních teplot. Základní řada měla mimoto ještě verzi A (např. LF155A) s vybranými přísnějšími tolerancemi vstupních vlastností. Později vyráběné zesilovače této řady, označené písmenem B, měly dále zlepšené provozní vlastnosti.

Operační zesilovače řady LF155 byly vyvinuty se zaměřením hlavně na malé provozní napájecí proudy (typicky 2 mA), řada LF156 pro použití jako širokopásmový zesilovač, řada LF157 jako širokopásmový zesilovač, který při minimální napětové zesílení 5 ne-

Tab. 1. Vlastnosti operačních zesilovačů dané použitou technologií

Technologie	Přednosti	Druhy operačních zesilovačů
Bipolární	levná výroba	různé pro všeobecné použití od ní až po vf do 20 MHz
BIFET Bipolární s JFET na společném čipu	velká vstupní impedance, menší příkon	pro všeobecné použití avšak s vlastnostmi součástek MOS bez problémů při zpracování a manipulaci
BIMOS Bipolární, MOS a JFET na společném čipu	vysoký stupeň integrace	zesilovače stabilizované střídačem
MOS	vysoký stupeň integrace, velká vstupní impedance, malý příkon	pro přístroje výpočetní techniky a zpracování dat
I^2L	vysoký stupeň integrace, menší ztrátový výkon	velmi rychlé zesilovače pro speciální přístroje, cenově velmi nákladné
Schottky	velmi rychlé zesilovače	pro speciální přístroje, cenově velmi nákladné
Hybridní Bipolární a MOS čipy na společném substrátu	velmi rychlé zesilovače, pro velmi vysoké kmitočty	pro speciální a průmyslové použití

potřeboval žádnou kmitočtovou kompenzaci kondenzátorem.

Ačkoli byly popsané zesilovače vyvinuty firmou NS, byly dříve či později zařazeny do výrobního programu jiných výrobců a zvoleny jako průmyslový standard. Operační zesilovače analogických vlastností vyrábí rovněž TESLA Rožnov pod označením MAC155 až MAC157 a MAB355 až MAB357.

V současné době nabízí National Semiconductor operační zesilovače LF351, LF353 a LF13741 vyráběné zlepšenou technologií BIFET II. Typ LF13741 slouží jako přímá, zlepšená náhrada oblíbeného zesilovače $\mu A741$.

V sortimentu vyráběných operačních zesilovačů firmy Fairchild můžeme nalézt zesilovač BIFET jednoduchý $\mu A771$, dvojitý $\mu A722$ a čtyřnásobný $\mu A774$. Jako druhý dodavatel dodává též zesilovače řady LF155, LF156 a LF157 včetně provedení A.

Další výrobci, Advanced Micro Devices a Motorola, jsou rovněž druhými výrobci a dodavateli zesilovačů BIFET řady LF155 a LF355. Motorola dodává navíc zesilovač MC3571 se šífkou pásma 8 MHz a rozšířeným rozsahem provozních teplot a typ MC3471 se šífkou pásma 7 MHz a komerčním rozsahem provozních teplot. Druhým dodavatelem zesilovačů LF155 je též další výrobce Intersil.

Precision Monolithic, výrobce speciálních integrovaných obvodů, neopomíjí operační zesilovače BIFET řady LF155 a nabízí vlastní provedení pod označením PM-155, PM-155A až PM-157, PM157A, jejichž vlastnosti odpovídají součástkám National Semiconductors. Ve své nabídce má navíc zesilovač typů OP-15, OP-16 a OP-17, které jsou podstatně vylepšeny. Mají zmenšený vlastní šum, nové tepelně velmi stabilní vstupní stupně s polem řízenými tranzistory. Každý z těchto tří typů zesilovačů se dodává v šesti jinak elektricky specifikovaných provedeních a pouzdrech.

Výrobce Precision Monolithic používá k výrobě svých operačních zesilovačů BIFET vyvažovací postup „zener-zap“. Rezistory, na jejichž přestnosti zvlášť záleží, jsou na čipu rozděleny do několika dílčích rezistorů, jímž jsou přiřazeny nevodivé paralelní Z-diody. Testovací počítač určuje, o kolik těchto dílčích rezistorů se musí zmenšit celkový rezistor a určuje definitivní zničení (zap) příslušných Z-diod. Počítač je pak definovaným impulsem v závěrném směru zničí a místně omezený zkrat řízeným přetížením odstraní. Povrchové poškození čipu je při tomto postupu menší než při laserovém vyvažování. Popsaným postupem se dosáhne podstatně menší tepelné závislosti vstupní napěťové a proudové nesymetrie, což bylo hlavním smyslem této zajímavé technologie.

Američtí výrobci Raytheon a Texas Instruments jsou dalšími výrobci operačních zesilovačů BIFET LF155. Texas Instruments navíc vyvinul tři řady vlastních operačních zesilovačů BIFET v plastovém pouzdru DIL, které se staly velmi populárními a všestranně používanými. Všechny tři řady zesilovačů obsahují jednoduchý typ TL080, TL070, TL060 s možností vnější kmitočtové kompenzace, další jednoduchý typ TL081, TL071, TL061 s vnitřní kmitočtovou kompenzací. Další dva dvojitě zesilovače TL082, TL072, TL062 a TL083, TL073, TL063 mají vnitřní kmitočtovou kompenzaci a jsou v pouzdru DIL-8, popříp. DIL-14. Obvody TL083 a TL073 mají možnost nulování vstupní nesymetrie. Čtyřnásobné zesilovače TL084 (TL074, TL064) jsou vybaveny vnitřní kmitočtovou kompenzací, elektrické vlastnosti každého systému jsou shodné se základním jednoduchým typem TL081 (TL071, TL061). Základní řada TL080 je určena pro všeobecné použití, TL070 se

vyznačuje mimořádně malým šumem a je vhodná pro nízkofrekvenční použití, v hifi a stereofonních přístrojích. Zesilovače řady TL060 mají napájecí proud zmenšený na jednu desetinu proudu zesilovačů TL080, jsou podstatně pomalejší a proto vhodné pro přístroje napájené z baterií. Obdobné operační zesilovače vyrábí rovněž americký výrobce RCA pod označením CA080, CA070 a CA060. V zemích RVHP vyrábí dvě řady obdobných zesilovačů, B080D a B060D, výrobce polovodičových součástek VEB Halbleiterwerk, Frankfurt/Oder, NDR.

Pro úplnost se musíme zmínit o operačních zesilovačích BIMOS z výroby RCA, které zahrnují tři řady zesilovačů. Prvním z nich je typ CA3130 spolu s přísněji tolerovanými typy CA3130A a CA3130B. Musí se kmitočtové kompenzovat vnějšími součástkami. Zesilovač CA 3160 je elektrickou obdobou předešlého typu, má však vnitřní kmitočtovou kompenzaci. Obě řady zesilovačů mají vstupní stupeň s tranzistorem PMOS s ochranou řídicích elektrod, jeden zesilovač vyrobený bipolární technikou a výstupní stupeň v technologii COS MOS. Tato pozoruhodná technologie dovoluje rozkmit výstupního napětí až do zbytkového napětí 10 mV, vztaheno vůči použitému napájecímu napětí.

Jisté omezení popsane zesilovače CA3130 a CA3160 mají. Je to především maximálně přípustné napájecí napětí ± 8 V, popříp. unipolární napětí 16 V. RCA však nabízí další řadu operačních zesilovačů CA3140 s dovoleným napájecím napětím ± 18 V, u CA3140B s napětím ± 22 V. Tyto zesilovače jsou označovány jako hospodárná, ekonomická řada zesilovačů pro všeobecné použití s vnitřní kmitočtovou kompenzací, která může nahradit nepoužívanější zesilovače řady 741 s tím, že má vstupní odpor větší o činitel 10^6 , je „rychlejší“ (lepší SR) a má lepší širokopásmový zesilovací činitel BW.

Základní elektrické údaje všech představitelů operačních zesilovačů BIFET a BIMOS pro srovnání s vlastnostmi bipolárních zesilovačů řady 709 a 741 jsou sestaveny v tab. 2.

Technologii BIFET poprvé použil Texas Instruments k výrobě monolitických integrovaných operačních zesilovačů vlastní konstrukce v roce 1977. Cenově velmi výhodné operační zesilovače řady TL080 až TL084 se vstupem osazeným přechodovými, polem řízenými tranzistorem (JFET), se velmi rychle rozšířily. O něco později následovala řada zesilovačů s podobnými vlastnostmi, avšak s velmi malým šumem, TL070, a nakonec řada programovatelných zesilovačů s malým příkonem, TL060. Operační zesilovače všech jmenovaných řad se vyznačují rychlostí a dalšími vlastnostmi jako velmi vykonné bipolární obvody.

Podstatný rozdíl mezi bipolárními operačními zesilovači a operačními zesilovači BIFET popsanych řad spočívá v konstrukci vstupního stupně, který má na vstupu dva polem řízené tranzistorem JFET, výstupní stupeň je zhotoven bipolární technikou s komplementárními tranzistorem. Polem řízené tranzistorem se vyrábějí technologií iontové implantace, která je v podmínkách hromadné výroby velmi ekonomická a zaručuje přesné reprodukovatelné výsledné vlastnosti vyráběných integrovaných obvodů. Integrace nejnútnejšího minimálního počtu použitých JFET určuje zároveň kompromis mezi vlastnostmi zesilovače a jeho cenou. Polem řízené tranzistorem se proto používají jen na těch místech, kde porovnatelně menší rozdíly ve vlastnostech tranzistorů nemohou způsobit podstatné odchylky ve vlastnostech operačních zesilovačů BIFET.

Přednosti operačních zesilovačů BIFET je možné charakterizovat těmito vlastnostmi:

– velký vstupní odpor R_i ,

- malá proudová nesymetrie,
- malý klidový proud,
- velký rozsah souhlasného a diferenčního vstupního napětí,
- malá vlastní spotřeba napájecího proudu I_{cc} ,
- nevyskytuje se nebezpečí zablokování funkce zesilovačů,
- výstup zesilovačů je odolný proti zkratu,
- většina operačních zesilovačů je vybavena vnitřní kmitočtovou kompenzací,
- velká rychlost přeběhu SR (typický až 13 V/ μs).

Operační zesilovače s popsávanými vlastnostmi jsou z hlediska použití univerzální součástkou. Porovnáme-li operační zesilovače BIFET se zesilovači řady 741, jsou si obě řady zesilovačů v mnoha směrech podobné. Mají podobné výstupní stupně, podobně se vyvažuje vstupní nesymetrie, základní typy mají shodná zapojení vývodů. Rozhodující přednost spočívá u zesilovačů BIFET ve vstupu s velkým vstupním odporem. Z dynamického hlediska může dosahovat jejich vstupní odpor až $10^{12} \Omega$. Z hlediska statického nelze opomenout skutečnost, že vstupem protékají určité, nezanedbatelné proudy, které se s vyšší teplotou dále zvětšují. Například při teplotě $+70^\circ C$ se musí předpokládat vstupní klidový proud až 10 nA. Prakticky to znamená, že na vnějším činném vstupním odporu 100 k Ω vůči zemi vzniká napětí 1 mV. Pro srovnání: U bipolárního vstupního stupně s klidovým proudem 1 μA a stejným vstupním odporem vznikne na stejném odporu napětí 100 mV, tedy stonásobek!

Kladně se musí hodnotit konstrukce vnitřního elektrického zapojení operačních zesilovačů BIFET, které jsou odolné proti zablokování funkce. Tímto jevem trpěly některé starší typy operačních zesilovačů, hlavně pak zesilovače řady 709, když byla u nich zavedena silná zpětná vazba. Jev se projevoval pevným (konstantním) výstupním napětím. Příčinou bývá zpravidla přebuzení invertujícího vstupu, čímž se stane diodová cesta báze-kolektor vstupního tranzistoru vodivá. Signál se pak dostane, aniž by byl invertován, na výstup diferenčního stupně a odtud se přenese na výstup operačního zesilovače rovněž ve stejné fázi. Zpětná vazba začne spolupůsobit a zesilovač přejde do stavu nasycení. V důsledku stálého spolupůsobení zpětné vazby setrvává stejný stav i po doznění vstupního signálu. Proto mohou i náhodně přivedené špičky rušivého napětí způsobit zablokování zesilovače. Popsanému nebezpečí se musí čelit buzením ze zdroje s velkým výstupním odporem a připojením vnějších diod. Většina modernějších operačních zesilovačů je již vybavena vnitřní ochranou proti zablokování. To platí též o operačních zesilovačích BIFET, jejichž struktura vstupu je upravena tak, aby byly v provozu spolehlivé proti zablokování.

V důsledku dostupných levných a jednoduše použitelných bipolárních operačních zesilovačů řady 741 a 748 se mnohdy přehlíží, že tyto součástky jsou jistým kompromisem, které v plném rozsahu bipolární technologie nemůže vyřešit či obejít. Následující přehled základních omezení a následných zlepšení ve výrobních postupech může přispět ke snadnějšímu rozhodnutí, které z operačních zesilovačů v zamyšleném zapojení lépe vyhoví.

Rychlost

Bipolární technologie využívá křemíkových desek jako substrátu s vodivostí p, epitaxní vrstvy n pro snadnější výrobu tran-

zistorů n-p-n. Tranzistory p-n-p, které se používají hlavně jako součástky v obvodech pro stejnosměrné předpětí, se musejí uspořádat jako laterální. Šířka báze těchto tranzistorů je dána maskou, nikoli difúzí. Rozměrově je proto o řád větší, než u odpovídajícího tranzistoru n-p-n. Odtud vyplývá zvětšení difúzní kapacity, tzn. uložené náboje minoritních nosičů báze zmenšují výkonost při provozu se střídavým signálem, omezují šířku pásma asi na 1 MHz a typickou rychlost přeběhu na 0,5 V/μs.

Nejsnadnější metodou, jak vyřešit uvedený problém, je úplně vypustit tranzistory p-n-p, jak to provedli konstruktéři operačního zesilovače $\mu A702C$. Předpětí se u něj získává pomocí rezistorů a konstantního zdroje proudu s tranzistory n-p-n. K tomu je však zapotřebí asymetrické napájecí napětí, aby se na výstupu získalo přibližně symetrické maximální výstupní napětí, které se v žádném případě nekryje s asymetrickým vstupním napětím. Další problém vyvolává vstupní proud, jež je řádu jednotek mikroampérů, což znamená, že vstupní impedance je typicky okolo 40 kΩ. V tomto případě se tedy musí zapomenout na řadu předností, aby se dosáhlo šířky pásma okolo 10 MHz.

Elegantní řešení problému bylo použito u operačních zesilovačů LM318. Vysokofrekvenční cesta signálu byla nesymetricky vytvořena kondezátorem 100 pF, stupeň p-n-p byl pro vysoké kmitočty přemostěn kondezátorem 28 pF a útlum 6 dB/oktávu byl určen kondezátorem 6 pF. Tranzistory p-n-p byly použity pouze pro stejnosměrné předpětí a nemají vliv na vysokofrekvenční vlastnosti zesilovače, který má po popsanych úpravách typickou šířku pásma 15 MHz a rychlost přeběhu 70 V/μs! Na tomto zesilovači je pozoruhodná možnost vnější kompenzace, čímž se rychlost přeběhu v invertujícím provozu dále zdvojnásobí.

Aby se dosáhlo popsanych výborných vlastností, musí se vyrobít na čipu tři kondenzátory s celkovou kapacitou 134 pF. To má ovšem své nevýhody. Protože kondenzátor s kapacitou 30 pF, který je integrován na čipu obvodu 741, zabírá 25 % plochy systému, je ihned jasné, že obvod LM318 má velkoplošný čip, a proto je velmi drahý.

Technicky dobré a hodnotné optimální řešení představuje vstupní stupeň s polem řízenými tranzistory. Omezíme se zde jen na tyto činitele: Rychlost přeběhu operačního zesilovače s jedním kompenzačním kondenzátorem je proporciální poměru proudu pro předpětí k přenosovým vlastnostem vstupního stupně. Polem řízený tranzistor však vyžaduje větší proud pro předpětí než bipolární tranzistor pro dosažení stejných přenosových vlastností.

Protože je šířka pásma v takovém zesilovači proporciální proudu pro předpětí vstupního stupně, můžeme soudit, že operační zesilovač s polem řízenými tranzistory na vstupu bude podstatně rychlejší než standardní bipolární operační zesilovač. Podmínkou je, že v signálové cestě nebudou zařazeny žádné laterální tranzistory p-n-p. Tuto podmínku je možné snadno splnit použitím zapojení pro předpětí polem řízených tranzistorů.

Vstupní impedance

Standardní bipolární operační zesilovače mají vstupní impedance typicky 1 MΩ, minimálně zaručovanou impedanci zpravidla 0,3 MΩ. Tím jsou dány vstupní proudy (kolem 200 nA). Vstupní impedance se obvykle požaduje větší nejen proto, aby se rozšířil

Tab. 2. Přehled nejrozšířenějších operačních zesilovačů s polem řízenými tranzistory na vstupu ve srovnání s bipolárními operačními zesilovači

Typ	R_i [Ω]	U_{io} max. [mV]	I_{io} max. [nA]	I_{IB} max. [nA]	BW [MHz]	CMR min. [dB]	I_{CC} max. [mA]	A_u min. [V/mV]	SR [V/μs]
Jednoduché zesilovače									
CA3130	$1,5 \cdot 10^{12}$	15	0,03	0,05	15		15	110>94	30
CA3130A	$1,5 \cdot 10^{12}$	5	0,02	0,03	15		15	>94	30
CA3140	$1,5 \cdot 10^{12}$	15	0,03	0,05	4,5		6	>86	9
CA3140A	$1,5 \cdot 10^{12}$	5	0,02	0,03	4,5		6	>86	9
CA3240	$1,5 \cdot 10^{12}$	15	0,03	0,05	4,0		15,5	>94	10
CA3240A	$1,5 \cdot 10^{12}$	5	0,02	0,03	4,0		15,5	>94	10
LF155	$1 \cdot 10^{12}$	5	0,02	0,1	2,5	85	4	50	5
LF155A	$1 \cdot 10^{12}$	2	0,01	0,05	2,5	85	4	50	5
LF156	$1 \cdot 10^{12}$	5	0,02	0,1	4	85	7	50	12
LF156A	$1 \cdot 10^{12}$	2	0,01	0,05	4	85	7	50	12
LF157	$1 \cdot 10^{12}$	5	0,02	0,1	15	85	7	50	50
LF157A	$1 \cdot 10^{12}$	2	0,01	0,05	15	85	7	50	50
LF355	$1 \cdot 10^{12}$	10	0,05	0,2	2,5	85	4	25	5
LF355A	$1 \cdot 10^{12}$	2	0,01	0,05	2,5	85	4	50	5
LF356	$1 \cdot 10^{12}$	10	0,05	0,2	5	85	10	25	12
LF356A	$1 \cdot 10^{12}$	2	0,01	0,05	4,5	85	10	50	12
LF357	$1 \cdot 10^{12}$	10	0,05	0,2	20	85	10	25	50
LF357A	$1 \cdot 10^{12}$	2	0,01	0,05	20	85	10	50	50
LM301A	$2 \cdot 10^6$	7,5	50	250	1	70	3	25	0,5
LM307	$2 \cdot 10^6$	7,5	50	250	1	70	3	25	0,5
LM318	$3 \cdot 10^6$	10	200	500	15	70	10	25	70
NE5534	$1 \cdot 10^5$	4	300	1500	10	70	8	25	13
TL060C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	1	70	0,25	3	3,5
TL061C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	1	70	0,25	3	3,5
TL066C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	1	70	0,25	3	3,5
TL071C	$1 \cdot 10^{12}$	10	0,05	0,2	3	70	2,5	25	13
TL080C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	3	70	2,8	25	13
TL080AC	$1 \cdot 10^{12}$	6	0,1	0,2	3	70	2,8	25	12
TL081C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	3	70	2,8	25	13
TL081AC	$1 \cdot 10^{12}$	6	0,1	0,2	3	70	2,8	25	12
TL087C	$1 \cdot 10^{12}$	0,5	0,05	0,4	3	70	2,8	25	13
TL321C	$2 \cdot 10^6$	7	50	-250	1	65	2,0	25	0,5
TL702C	$7 \cdot 10^4$	10	5000	15 000	30	65	7,0	1	1,7
OP-15A	$1 \cdot 10^{12}$	0,5	0,022	0,11	6>4		4,0	100	17>10
OP-16A	$1 \cdot 10^{12}$	0,5	0,025	0,13	8>6		7,0	100	25>18
OP-17A	$1 \cdot 10^{12}$	0,5	0,025	0,13	30>20		7,0	100	70>45
$\mu A709C$	$4 \cdot 10^5$	7,5	500	1500	10	65	6,7	15	0,3
$\mu A741C$	$2 \cdot 10^6$	6	200	500	1	70	2,8	20	0,5
$\mu A748C$	$2 \cdot 10^6$	6	200	500	1	70	2,8	20	0,5
$\mu A777C$	$2 \cdot 10^6$	5	20	100	1	70	3,3	25	0,5
Dvojitě zesilovače									
LM358	$2 \cdot 10^6$	7	50	-250	1	65	2	25	0,5
MC1458	$2 \cdot 10^6$	6	200	500	1	70	2,8	20	0,5
RC4558	$5 \cdot 10^6$	6	200	500	3	70	2,8	20	1
TL022C	$1 \cdot 10^6$	5	80	250	0,8	60	0,125	4	0,5
TL062C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	1	70	0,25	3	3,5
TL072C	$1 \cdot 10^{12}$	10	0,05	0,2	3	70	2,5	25	13
TL082C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	3	70	2,8	25	13
TL082AC	$1 \cdot 10^{12}$	6	0,1	0,2	3	70	2,8	25	12
TL083C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	3	70	2,8	25	13
TL083AC	$1 \cdot 10^{12}$	6	0,1	0,2	3	70	2,8	25	12
TL287C	$1 \cdot 10^{12}$	0,5	0,05	0,4	3	70	2,8	25	13
$\mu A747C$	$2 \cdot 10^6$	6	200	500	1	70	2,8	25	0,5
Čtyřnásobné zesilovače									
LM324	$2 \cdot 10^6$	7	50	-250	1	65	2	25	0,5
LM348	$2,5 \cdot 10^6$	6	50	200	1	70	1,125	25	0,5
LM349	$2,5 \cdot 10^6$	6	50	200	4	70	1,125	25	2
LM3900	$1 \cdot 10^6$			200	2,5		2,5	1,2	0,5
MC3403	$1 \cdot 10^6$	10	50	-500	1	70	1,75	20	0,6
RC4136	$5 \cdot 10^6$	6	200	500	3	70	3,425	20	1
TL044C	$1 \cdot 10^6$	5	80	250	0,8	60	0,125	4	0,5
TL064C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	1	70	0,25	3	3,5
TL074C	$1 \cdot 10^{12}$	10	0,05	0,2	3	70	2,5	25	13
TL075C	$1 \cdot 10^{12}$	10	0,05	0,2	3	70	2,5	25	13
TL084C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	3	70	2,8	25	13
TL084AC	$1 \cdot 10^{12}$	6	0,1	0,2	3	70	2,8	25	12
TL085C	$1 \cdot 10^{12}$	15	0,2	0,4	3	70	2,8	25	13
TL085AC	$1 \cdot 10^{12}$	6	0,1	0,2	3	70	2,8	25	12
Šestinásobné zesilovače									
TL326	$2 \cdot 10^6$	7	50	-250	1	65	2	25	0,5

rozsah snímatelného zdroje signálu, ale též aby se zmenšila vstupní napěťová nesymetrie, která závisí na teplotních změnách vstupního proudu.

Metoda, která byla použita ve standardní bipolární technologii, využívá výkoných vstupních tranzistorů „super-beta“. Difúze emitoru tranzistorů, která určuje vstupní impedanci, sleduje zde difúzi emitorů všech tranzistorů, takže tranzistory superbeta jsou vyrobeny dvěma difúzemi emitorů. Výsledná úzká báze má za následek proudové zesílení od 1000 do 10 000, avšak při malém průrazném napětí kolektor-báze. Popsaným řešením se zúží i rozsah vstupního napětí zesilovače. Hlavní problém spočívá v možném zničení báze následkem nadměrné difúze emitoru, ke které při tomto postupu příležitostně dochází. Cena a použitelnost operačních zesilovačů super beta samozřejmě odráží i popsané problémy při jejich výrobě.

Použití polem řízených tranzistorů ve vstupních stupních operačních zesilovačů je v podstatě dnes již jednoduchá záležitost. Vstupní proud zesilovače je jen zbytkový proud řídicí elektrody, který je při pokojové teplotě menší než 1 nA. Výsledná vstupní impedance je typicky asi $10^{12} \Omega$.

Technologický postup BIFET, používaný ve výrobě operačních zesilovačů, je založen na standardní bipolární difúzi podstatně zlepšené iontovou implantací řídicí elektrody (hradla) přechodového polem řízeného tranzistoru, který se podstatnou mírou podílí na zlepšených vlastnostech vstupní nesymetrie.

Operační zesilovače řady TL080 a TL060 jsou výsledkem řady kompromisů. Byl u nich zvolen určitý mezní kmitočet průchozího signálu tak, aby se dodržel napájecí proud na přijatelné nízké úrovni. Maximální vstupní napěťová nesymetrie je poněkud větší než u bipolárních operačních zesilovačů. Důvodem je udržení ceny v přijatelných mezích. Mezní tranzitní kmitočet 2,5 MHz u TL080 a 1 MHz u TL060 nelze považovat za omezující činitel, protože obecně používané zesilovače řady 741 mají mezní průchozí kmitočet 1 MHz, mnohé bipolární typy ještě méně. Operační zesilovače BIFET jsou však v důsledku tepelné závislosti dosti nevýhodné při provozu s vyššími teplotami, protože při $+125^\circ\text{C}$ mají podstatně větší vstupní proud než zesilovače řady 741. Tato teplota se však v žádném případě nedovoluje. Přesto vše jsou operační zesilovače BIFET velkým pokrokem v technice navrhování a použití operačních zesilovačů vůbec přesto, že neřeší všechny problémy, což se od nich ani neočekávalo.

V rámci specializace a dělby práce ve výrobě polovodičových součástek v zemích RVHP jsou u nás dostupné dvě základní řady operačních zesilovačů BIFET vyráběných v NDR podnikem VEB Halbleiterwerk, Frankfurt/Oder, které jsou mechanickou a elektrickou obdobou součástek Texas Instruments TL080 a TL060. Obě řady zesilovačů reprezentují typy

B080D až B084D se standardním napájecím proudem max. 2,8 mA,

B060D až B066D s velmi malým napájecím proudem max. 250 μA . Oběma řadám operačních zesilovačů jsou věnovány následující informace o jejich elektrických vlastnostech a možnostech použití.

Operační zesilovače B080D, B081D, B082D, B083D, B084D

Řada operačních zesilovačů BIFET B080D z výroby podniku VEB Halbleiterwerk, Frankfurt/Oder, NDR, čítá pět typů, avšak je konstruována na základě systému

Tab. 3. Přehled operačních zesilovačů BIFET řady B080D

Typ	Počet systémů	Kompence, nulování	Rozsah provozní teploty	Pouzdro	Zapojení vývodů	Vývodové slučitelné s
B080D	1	vnější nulování	A	DIL-8	3	$\mu\text{A}748\text{TC}$
B080Dm	1	vstupní nesymetrie,	A	DIL-8	3	
B080Dp	1	vnější kmitočtová	A	DIL-8	3	
B080Dt	1	kompence	B	DIL-8	3	
B081D	1	vnější nulování	A	DIL-8	4	$\mu\text{A}741\text{TC}$
B081Dm	1	vstupní nesymetrie,	A	DIL-8	4	
B081Dp	1	vnější kmitočtová	A	DIL-8	4	
B081Dt	1	kompence	B	DIL-8	4	
B082D	2	vnitřní kmitočtová	A	DIL-14	5	MA1458
B082Dm	2	kompence	A	DIL-14	5	
B082Dp	2		A	DIL-14	5	
B082Dt	2		B	DIL-14	5	
B083D	2	vnější nulování	A	DIL-14	6	$\mu\text{A}747\text{PC}$
B083Dm	2	vstupní nesymetrie,	A	DIL-14	6	
B083Dp	2	vnitřní kmitočtová	A	DIL-14	6	
B083Dt	2	kompence	B	DIL-14	6	
B084D	4	vnitřní kmitočtová	A	DIL-14	7	$\beta\text{M}324$
B084Dm	4	kompence	A	DIL-14	7	
B084Dp	4		A	DIL-14	7	
B084Dt	4		B	DIL-14	7	

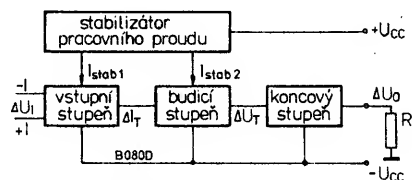
Rozsah provozní teploty:

A: 0 až $+70^\circ\text{C}$; B: -25 až $+85^\circ\text{C}$.

operačního zesilovače B081D. Tento základní systém se vyznačuje vnějším nulováním vstupní nesymetrie a má vnitřní kmitočtovou kompenzaci. Druhé, upravené provedení systému, označené B080D, má vnější nulování vstupní nesymetrie, avšak nemá vnitřní kmitočtovou kompenzaci, proto se musí zavádět vnější kompenzace pasívními součástkami.

Dvojitý operační zesilovač B082D, B083D a čtyřnásobný zesilovač B084D mají vnitřní kmitočtovou kompenzaci, typ B083D vyžaduje vnější nulování vstupní nesymetrie. Technologii obou základních jednoduchých zesilovačů jsou vyrobeny monolitickou cestou dvojitý a čtyřnásobný zesilovač na společné křemíkové podložce. Tyto obvody jsou prakticky zrcadlovým obrazem, popřípadě dvojnásobným zrcadlovým obrazem obvodu B081D. Všechny zesilovače řady B080D jsou přehledně uspořádány v tab. 3 s jejich popisem, teplotním rozsahem, použitým pouzdem, zapojením vývodů a vývodovou slučitelností s bipolárními operačními zesilovači.

Každý typ zesilovače v tabulce má svou podskupinu, která je dána změřenými elektrickými vlastnostmi kritických veličin. Jednotlivé podskupiny každého ze zesilovačů jsou určeny pro tato použití:

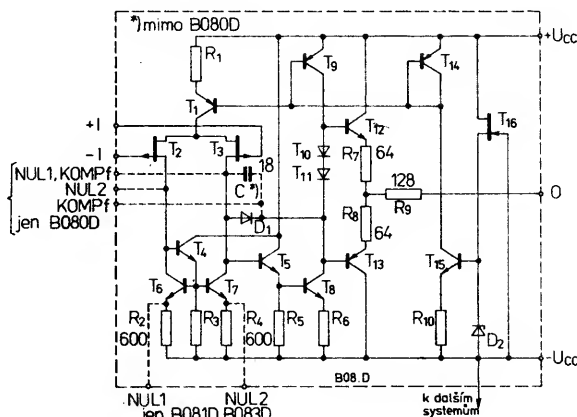


Obr. 1. Funkční skupinové zapojení operačních zesilovačů řady B080D

B08.D pro běžné použití,
B08.Dm pro náročnější použití,
B08.Dp pro velmi náročná použití,
B08.Dt pro náročná použití v průmyslové elektronice, rozsah provozních teplot okolí od -25 do $+85^\circ\text{C}$.

Integrované obvody B080D až B084D jsou analogové obvody s převážně bipolární strukturou, jejichž vstupní stupeň je vybaven párem přechodových, polem řízených tranzistorů. Funkční skupinové zapojení základního typu operačního zesilovače B080D/B081D je na obr. 1. Toto typické zapojení jednoho systému zesilovače se u několika-systémových součástek podle typu dvakrát nebo čtyřikrát opakuje.

Vnitřní elektrické zapojení základního typu operačního zesilovače B080D, B081D je na obr. 2. Jak již bylo uvedeno, vstupní



Obr. 2. Vnitřní elektrické zapojení operačních zesilovačů řady B080D

stupeň tvoří diferenční zesilovač, osazený přechodovými polem řízenými tranzistory T_2 , T_3 . Aktivní zátěž proudového zrcadla tvoří tranzistory T_4 , T_6 , T_7 , které slouží k přeměně diferenčního signálu na „jednosměrný“ signál.

Hlavní zesilovací stupeň s tranzistory T_5 a T_8 , které tvoří předzesilovač a budící zesilovač, se podílí podstatnou měrou na celkovém zesílení a současně slouží k řízení zdroje předpětí. Zdroj předpětí tvoří tranzistory T_{10} a T_{11} . Zajišťují předpětí pro tranzistory T_{12} a T_{13} výstupního stupně. Oba tranzistory jsou vybuzeny do pracovní třídy AB. Předpětíové zapojení samo je vybuzeno hlavním zesilovacím stupněm s tranzistory T_5 a T_8 .

Budící stupeň a diferenční zesilovač jsou navzájem zpětnovazebně vázány vnitřním kondenzátorem C_1 spolu s diodou D_1 . Polem řízený tranzistor T_{16} napájí Zenerovou diodu D_2 konstantním proudem. Tím se nastaví na bázi tranzistoru T_{15} napětí asi 5,2 V.

Tranzistor T_{15} (a jeho emitorový rezistor) odebrá konstantní proud okolo 316 μA , který protéká rovněž tranzistorem T_{14} . Proudů báze tranzistorů T_1 a T_9 jsou shodné s proudem tranzistoru T_{14} . Základní plocha tranzistoru T_9 je však větší, a proto umožňuje, aby tento tranzistor dodával na výstup zapojení pro předpětí a hlavní zesilovač konstantní proud okolo 600 μA . Rezistor R_1 omezuje proud výstupu tranzistoru T_1 na 196 μA , který je symetricky rozdělen mezi tranzistory T_2 a T_3 .

Proud protékající tranzistorem T_{15} napájí přes proudové zrcadlo T_1 , T_9 a T_{14} napájení obvodu pro předpětí, hlavní zesilovací stupeň a vstupní stupeň stabilními konstantními pracovními proudy.

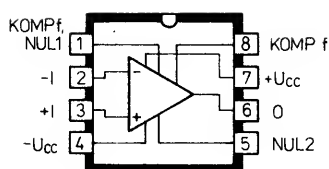
Je velmi výhodné, že tranzistory T_1 , T_9 a T_{14} jsou provedeny jako laterální tranzistory p-n-p. Protože nejsou v signálové cestě, nemají žádné nedostatky tranzistorů p-n-p při provozu na vyšších kmitočtech. Neovlivňují proto funkci a neovlivňují rychlost zesilovače. Jediným tranzistorem p-n-p v signálové cestě je tranzistor T_{13} , který má vertikální strukturu, přitom působí substrát čipu jako kolektor.

Vnitřní kapacita C_1 operačního zesilovače B081D a B084D je vyrobena jako kapacita MOS, což zajišťuje dodržení potřebných technických vlastností, takže tyto operační zesilovače mohou pracovat též jako stabilní napěťový sledovač se zesílením 1 (tj. 0 dB).

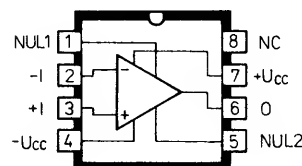
Lze rozpoznat, že šířka pásma tranzistoru T_{13} je určena difúzí. Proto je možné zvětšit jeho „rychlost“ oproti laterálnímu tranzistoru p-n-p, avšak jeho struktura je vhodná především pro emitorové sledovače. Difúze emitoru typu p musí být naproti tomu dostatečně hluboká – ta však šířku pásma operačního zesilovače s vnitřní kmitočtovou kompenzací omezuje na 2 až 4 MHz s typickou velikostí 2,5 MHz. Operační zesilovač B080D s vnější kmitočtovou kompenzací kondenzátorem s kapacitou 3 pF však může pracovat až do 10 MHz.

Vstupy operačních zesilovačů řady B080D jsou nastaveny na maximální nábohovou strmost výstupního napětí (přeběh) s typickou velikostí 13 V/ μs . Praktická měření prokázala, že některé kusy zesilovačů mají přeběh až 17 V/ μs . Charakteristika přeběhu je symetrická.

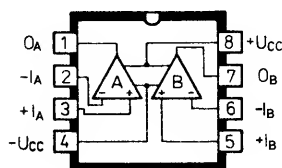
Operační zesilovače B080D až B082D jsou v plastovém pouzdru DIL s 2 \times čtyřmi vývody, B083D a B084D v pouzdru DIL-14 s 2 \times sedmi vývody ve dvou řadách. Zapojení vývodů všech pěti zesilovačů je v tab. 3. Elektrické údaje všech zesilovačů včetně jejich výběrových podtypů jsou uspořádány



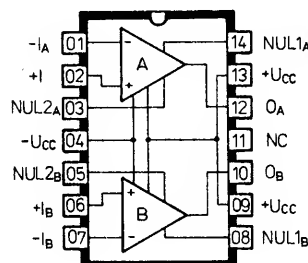
Obr. 3. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B080D



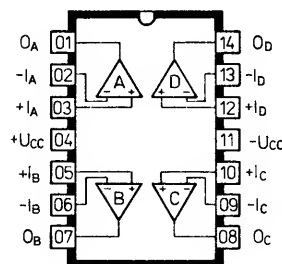
Obr. 4. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B081D



Obr. 5. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B082D



Obr. 6. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B083D

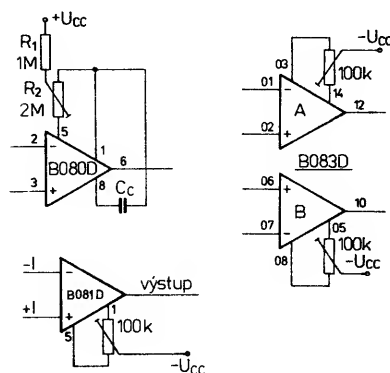


Obr. 7. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B084D

v tab. 4 a 5. Funkce vývodů: +I – neinvertující vstup, -I – invertující vstup, NUL1, NUL2 – vývody pro připojení vnějších součástek pro nulování vstupní nesymetrie, KOMP f – vývody pro připojení vnějších součástek ke kompenzaci kmitočtových vlastností operačního zesilovače.

Ke kompenzaci vstupní napěťové nesymetrie se u integrovaného obvodu B080D používají vývody označené NUL1 a NUL2, ke kmitočtové kompenzaci vývody KOMP f. Přitom vývod NUL1, KOMP f je pro oba druhy kompenzace společný. Všechny ostatní typy operačních zesilovačů jsou vybaveny vnitřní kmitočtovou kompenzací. U operačních zesilovačů B081D a B083D se mohou využít vývody NUL1 a NUL2, popř. NUL1A, NUL2A a NUL1B, NUL2B k nulování vstupní napěťové nesymetrie.

Zapojení vnějších součástek k nulování vstupní nesymetrie, u zesilovače B080D též ke kompenzaci kmitočtové, je na obr. 8a.

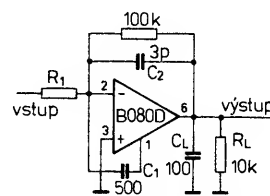


Obr. 8. Zapojení pro nulování vstupní nesymetrie a ke kmitočtové kompenzaci: a – operačního zesilovače B080D, b – vstupní nesymetrie operačního zesilovače B081D, c – operačního zesilovače se dvěma systémy, B083D

K vynulování vstupní nesymetrie zesilovače B080D se používá potenciometr R_2 , připojený mezi vývody 1 a 5, jehož běžec je připojen přes rezistor R_1 ke kladnému napájecímu napětí. Kmitočtově se OZ kompenzuje připojením kompenzačního kondenzátoru mezi vývody 1 a 8 podle zapojení na obr. 8a.

Vstupní nesymetrie zesilovačů B081D a B083D se naproti tomu nuluje podle obr. 8b a 8c potenciometrem 100 k Ω , připojeným mezi vývody NUL1 a NUL2, běžec potenciometru se připojí přímo k zápornému napájecímu napětí. Tento způsob nulování vstupní nesymetrie je v podstatě shodný se zapojením, používaným u bipolárního operačního zesilovače $\mu A741$. Odlišný je pouze odpor odporové dráhy vyvažovacího potenciometru. Obě popsaná zapojení zajišťují, že se operační zesilovače všech výběrových tříd mohou vyvážit na nulovou úroveň.

Kompenzační vývody se mohou u obvodu B080D použít při provozu OZ jako invertující zesilovač ke kompenzaci v předním směru podle zapojení na obr. 9. Kondenzátor C_1 ,



Obr. 9. Způsob přední kompenzace operačního zesilovače B080D

připojený k invertujícímu vstupu a vývodu NUL1 (vůči invertujícímu vstupu je ve stejné fázi) přejímá přenos signálu. Vstupní stupeň má přitom zesílení 1. Tato úprava zlepšuje v mnoha zapojeních vlastnosti zesilovače při provozu s velkým signálem, výkonovou šířkou pásma a dobu překmitu proti výrobce publikovaným údajům. Použije-li se kondenzátor C_2 s doporučenou kapacitou 3 pF, může operační zesilovač B080D pracovat až do kmitočtu 10 MHz.

U jednoduchého operačního zesilovače B080D slouží jako vývody pro připojení vnějších součástek pro nulování vstupní nesymetrie vývody výstupních elektrod vstupních polem řízených tranzistorů T_2 a T_3 . Obvyklé zapojení vnějších součástek podle obr. 8a má však jisté nevýhody. Potenciometrem R_2 je možné kompenzovat vstupní napěťovou nesymetrii asi do ± 60 mV při napájecím

Tab. 4. Mezní údaje operačních zesilovačů B080D až B084D

Platí v celém rozsahu provozních teplot.	
Napájecí napětí ¹⁾	$\pm U_{CC} = 0 \text{ až } 18 \text{ V.}$
Vstupní napětí diferenční ²⁾	$U_{ID} = -30 \text{ až } +30 \text{ V.}$
Vstupní napětí soufázové ¹⁾ ³⁾	$U_{IB} = -15 \text{ až } +15 \text{ V.}$
Ztrátový výkon $\vartheta_a = +25^\circ\text{C}$	$P_{tot} \leq 680 \text{ mW.}$
Rozsah pracovní teploty okolí B08.D, B08.Dm, B08.Dp B08.Dt	$\vartheta_a = -10 \text{ až } +70^\circ\text{C.}$ $\vartheta_a = -25 \text{ až } +85^\circ\text{C.}$
Teplota přechodu	$\vartheta_j = 150^\circ\text{C.}$
Rozsah skladovacích teplot	$\vartheta_{stg} = -55 \text{ až } +150^\circ\text{C.}$
Doba trvání výstupního zkratového proudu ⁴⁾	I_{K} neomezená.

- Všechny údaje napětí se vztahují, s výjimkou vstupního diferenčního napětí, vůči nulové úrovni (zemnímu potenciálu) napájecího napětí. Nulová úroveň se rovná střednímu napětí mezi napětími $+U_{CC}$ a $-U_{CC}$.
- Vstupní diferenční napětí je napětí neinvertujícího vstupu vztažené vůči invertujícímu vstupu.
- Vstupní napětí musí být menší, příp. rovné napájecímu napětí, nejvýše však 15 V.
- Výstup může být zkratován vůči napájecímu napětí nebo zemnímu potenciálu, přičemž teplota a (nebo) napájecí napětí se musí omezit natolik, aby se nepřekročil maximální ztrátový výkon.

Tab. 5. Charakteristické údaje operačních zesilovačů B080D až B084D

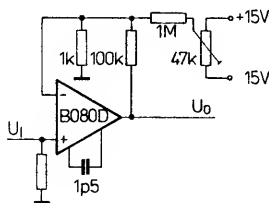
Statické údaje	
Platí při $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$ –5K, $U_{CC} = \pm 15 \text{ V} \pm 1\%$	
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S = 50 \Omega$: B080D, B081D, B083D, B084D B080Dm, B081Dm, B082Dm, B084Dm B080Dp, B081Dp, B082Dp, B083Dp, B084Dp B080Dt, B081Dt, B082Dt, B083Dt, B084Dt $R_S = 50 \Omega$, $\vartheta_a = -10 \text{ až } +70^\circ\text{C}$: B080D až B084D B080Dm až B084Dm B080Dp až B084Dp $R_S = 50 \Omega$, $\vartheta_a = -25 \text{ až } +85^\circ\text{C}$: B080Dt až B084Dt Rozkmit výstupního napětí mezivrcholového $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$: B08.D, B08.Dm, B08.Dp, B08.Dt $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $\vartheta_a = -10^\circ\text{C}$ až $+70^\circ\text{C}$: B08.D, B08.Dm, B08.Dp $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $\vartheta_a = -25^\circ\text{C}$ až $+85^\circ\text{C}$: B08.Dt Potlačení souhlasného signálu $U_{IB} = \pm 10 \text{ V}$, $R_S = 10 \text{ k}\Omega$: B08.D B08.Dm, B08.Dp, B08.Dt	$U_{IO} = \text{jmen. } 5; \leq 15 \text{ mV,}$ $U_{IO} = \text{jmen. } 3; \leq 6 \text{ mV,}$ $U_{IO} = \text{jmen. } 2; \leq 3 \text{ mV,}$ $U_{IO} = \text{jmen. } 3; \leq 6 \text{ mV;}$ $U_{IO} \leq 20 \text{ mV,}$ $U_{IO} \leq 7,5 \text{ mV,}$ $U_{IO} \leq 6,0 \text{ mV;}$ $U_{IO} \leq 9,0 \text{ mV.}$ $U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } 27; \geq 24 \text{ V,}$ $U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } 25; \geq 20 \text{ V,}$ $U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } 25; \geq 20 \text{ V.}$ $\text{CMR} = \text{jmen. } 92; \geq 70 \text{ dB,}$ $\text{CMR} = \text{jmen. } 95; \geq 80 \text{ dB.}$

napětí zesilovače $\pm 15 \text{ V}$. Ovšem potřebná kompenzace je jen $\pm 15 \text{ mV}$. Můžeme proto odpor rezistoru R_1 zvětšit. Měření na řadě vzorků zesilovače dalo vznik následujícímu vztahu

$R_1 \sim 0,3 U_{CC} \quad [\text{M}\Omega; \text{V}]$
Při napájecím napětí $\pm 15 \text{ V}$ je tedy vhodný odpor rezistoru asi $4,7 \text{ M}\Omega$.

Potenciometrem R_2 je připojen k „horkým“ bodům vstupního stupně zesilovače. Má-li se vynulovat vstupní napěťová nesymetrie potenciometrem s hřídelem vyvedeným na čelní desku přístroje, mohou se zhoršit v důsledku potřebných dlouhých přívodů kmitočtové vlastnosti zesilovače a zvětšit náchylnost k rušení nežádoucími rušivými napětími. Mnohdy se doporučuje úprava nulovacího obvodu podle obr. 10. Rezistory R_1 a R_2 se připojí přímo na integrovaný obvod. Rozdíl jejich teplotního koeficientu okolo $600 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ způsobí přídavnou změnu vstupní napěťové nesymetrie asi o $5 \mu\text{V/K}$. Další předností tohoto upraveného zapojení je menší teplotní součinitel nulovacího regulátoru s poměrně malým odporem, např. drátového potenciometru.

Pro srovnání: U operačních zesilovačů $\mu\text{A}725$ se udává při nulování pokles teplotního součinitele vstupní napěťové nesymetrie



Obr. 10. Nulovací zapojení operačního zesilovače B080D s prostorovým oddělením vnějších nulovacích součástek

z 1,2 až $4 \mu\text{V/K}$ na $0,6 \mu\text{V/K}$. Praktické zkoušky nulování operačního zesilovače B080D ve srovnatelném nulovacím zapojení podle předpisu obvodu $\mu\text{A}725$ však prokázaly, že tomu tak u obvodu B080D není. Čím je větší vstupní napěťová nesymetrie, o to větší je při nulování změna teplotního součinitele. Přitom byl teplotní součinitel v rozmezí -30 až $+30 \mu\text{V/K}$ a jeho velikost byla nezávislá na znaménku a velikosti vstupní nesymetrie. Typická velikost u zkoušených součástek byla okolo $15 \mu\text{V/K}$. Při nulování vstupní nesymetrie podle obr. 8a nebo obr. 10

Potlačení vlivu napájecího napětí
 $U_{CC1} = \pm 8 \text{ V}$, $U_{CC2} = \pm 18 \text{ V}$, $R_S = 10 \text{ k}\Omega$:

B08.D
B08.Dm, B08.Dp, B08.Dt
Napájecí proud každého zesilovače
Vstupní proudová nesymetrie
 $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$:

B08.D
B08.Dm, B08.Dp, B08.Dt
 $\vartheta_a = -10^\circ\text{C}$ až $+70^\circ\text{C}$:

B08.D
B08.Dm, B08.Dp
 $\vartheta_a = -25^\circ\text{C}$ až $+85^\circ\text{C}$:

B08.Dt
Vstupní klidový proud
 $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$:

B08.D
B08.Dm, B08.Dp, B08.Dt
 $\vartheta_a = -10^\circ\text{C}$ až $+70^\circ\text{C}$:

B08.D
B08.Dm, B08.Dp
 $\vartheta_a = -25^\circ\text{C}$ až $+85^\circ\text{C}$:
B08.Dt

Teplotní součinitel vstupní napěťové nesymetrie
Napěťové zesílení otevřené smyčky
 $U_O = \pm 10 \text{ V}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$:

B08.D
B08.Dm, B08.Dp
B08.Dt
 $\vartheta_a = -10^\circ\text{C}$ až $+70^\circ\text{C}$:

B08.D
B08.Dm, B08.Dp
 $\vartheta_a = -25^\circ\text{C}$ až $+85^\circ\text{C}$:
B08.Dt

Vstupní odpor jmen.
Rozsah vstupního napětí ¹⁾

SVR = jmen. 95; $\geq 70 \text{ dB}$,
SVR = jmen. 100; $\geq 80 \text{ dB}$.
 $I_{CC} = \text{jmen. } 2; \leq 2,8 \text{ mA.}$

$I_{IO} = \text{jmen. } 12; \leq 200 \text{ pA,}$
 $I_{IO} = \text{jmen. } 12; \leq 100 \text{ pA;}$

$I_{IO} \leq 5 \text{ nA,}$
 $I_{IO} \leq 3 \text{ nA;}$

$I_{IO} \leq 10 \text{ nA.}$

$I_{IB} = \text{jmen. } 60; \leq 400 \text{ pA,}$
 $I_{IB} = \text{jmen. } 60; \leq 200 \text{ pA;}$

$I_{IB} \leq 10 \text{ nA,}$
 $I_{IB} \leq 7 \text{ nA;}$

$I_{IB} \leq 20 \text{ nA.}$

$\text{TK}_{UIO} = \text{jmen. } 10 \mu\text{V/K.}$

$A_{UO} = \text{jmen. } 200; \geq 25 \cdot 10^3$,
 $A_{UO} = \text{jmen. } 200; \geq 35 \cdot 10^3$,
 $A_{UO} = \text{jmen. } 200; \geq 50 \cdot 10^3$;

$A_{UO} \geq 15 \cdot 10^3$,
 $A_{UO} \geq 25 \cdot 10^3$;

$A_{UO} \geq 25 \cdot 10^3$.
 $R_1 = 10^{12} \Omega$.

$U_I = \text{jmen. } +15; \geq +15 \text{ V,}$
 $U_I = \text{jmen. } -11,5; \geq -11 \text{ V.}$

Dynamické údaje (jmenovité) ²⁾

Platí při $U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

Doba překmitu
 $U_I = 10 \text{ V}$, $A_U = 1$
Doba náběhu
 $U_I = 20 \text{ mV}$
Šířka pásma pro $A_U = 1$
Součinitel překmitu
Ekvivalentní vstupní šumové napětí
 $R_S = 100 \Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$

$\text{SR} = 13 \text{ V}/\mu\text{s.}$

$t_r = 0,1 \mu\text{s.}$

$f_1 = 2,5 \text{ MHz.}$
25 %.

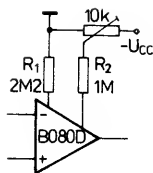
$U_{IN} = 35 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz.}}$

- Rozsah vstupního napětí je úzce svázan s napájecím napětím. K zaručení funkce součástky musí být vstupní napětí menší o 4 V než napájecí napětí $\pm U_{CC}$ (viz závislost $I_{IB} = f(U_{IB})$).
- Dynamické údaje jsou měřeny v zapojení podle obr. 15.

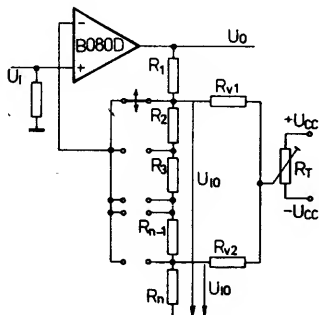
se přičítá chyba ΔTK_{UIO} k teplotnímu součiniteli, který se podle znaménka buď zvětší nebo zmenší. U operačních zesilovačů skupiny B08.Dp, u nichž výrobce zaručuje vstupní napěťovou nesymetrii max. 3 mV, se proto může typická velikost teplotního součinitele zdvojnásobit, u základních typů B08.D se může zvětšit až na pětinašobek.

Výsledky měření tedy ukazují, že oba základní způsoby nulování vstupní napěťové nesymetrie nejsou vhodné pro náročnější použití, kdy zesilovače pracují v širším rozsahu pracovních teplot. V těchto případech je vhodnější zařadit do vstupů pomocné nulovací napětí, jak se to dříve praktikovalo u starších operačních zesilovačů (např. u řady $\mu\text{A}709$). Vhodné nulovací zapojení je navrženo na obr. 11. Tento způsob nulování vstupní nesymetrie nezmění teplotní součinitel.

Jestliže se použije přepínatelná zpětná vazba, u níž se odpor zdroje pro invertující vstup mění, je vhodné použít zapojení podle obr. 12. Celkový napěťový dělič se zvětší



Obr. 11. Nulování vstupní napěťové nesymetrie ± 15 mV obvodu B080D pomocným napětím z kladného a záporného zdroje



Obr. 12. Způsob nulování vstupní napěťové nesymetrie obvodu B080D s přepínatelnou zpětnou vazbou

o velikost napětí vstupní nesymetrie. Protože připojené napětí je velmi malé, napěťový dělič se tím sotva změní. Odpor obou předřadných rezistorů se vypočte podle vztahů

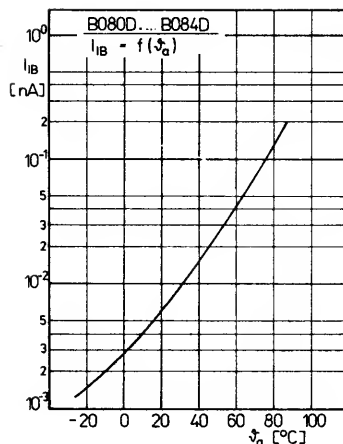
$$R_{V1} = R_1 \frac{U_{CC}}{U_{IO \max}}$$

$$R_{V2} = R_n \frac{U_{CC}}{U_{IO \max}}$$

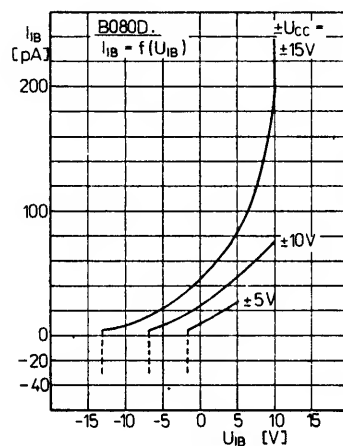
Nulování vstupní napěťové nesymetrie podle obr. 11 a 12 zaručuje teplotní závislost nulového bodu typicky okolo $15 \mu\text{V/K}$ pro všechny tři podtypy operačního zesilovače B080D. Obě nulovací zapojení jsou proto vhodná pro přesná přístrojová a průmyslová zapojení.

Elektrické vlastnosti

Vstupní klidový proud běžně prodávaných operačních zesilovačů řady B080D je zaručován maximálně do 400 pA, přičemž se uvádí jako typická velikost proud 60 pA. Vstupní proudová nesymetrie je zaručována max. 200 pA, typická velikost je 12 pA. U měřených zesilovačů podskupiny B080Dm, Dp a Dt je zaručován vstupní proud jen 200 pA, proudová nesymetrie 100 pA. Zde je na místě připomenout, že vstupní závěrné proudy přechodů p-n jsou silně závislé na teplotě. V nepříznivém případě se vstupní proud zvětší na dvojnásobek při zvýšení teploty o 10 K. Pokud se popisované operační zesilovače používají v běžném rozsahu teploty od 0 do $+70^\circ\text{C}$, nečiní to prakticky žádné problémy. U zesilovačů, pracujících v dovoleném rozsahu teplot od -25 až $+85^\circ\text{C}$ je však mezní velikost klidového proudu 20 nA, proudová nesymetrie 10 nA. Odtud lze vyvodit, že popisované zesilovače jsou vhodné především pro běžná použití. Značná teplotní závislost může působit rušivě i při externě vyvážené vstupní proudové nesymetrii. Závislost vstupního klidového proudu zesilovačů řady B080D na teplotě je uvedena graficky na obr. 13, na vstupním klidovém napětí při konstantním napájecím napětí ± 15 V, ± 10 V a ± 5 V na obr. 14.

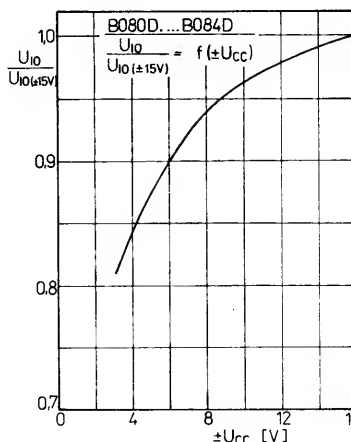


Obr. 13. Vstupní klidový proud obvodů řady B080D v závislosti na teplotě okolí



Obr. 14. Vstupní klidový proud integrovaných obvodů řady B080D v závislosti na vstupním klidovém napětí při konstantním napájecím napětí ± 15 V, ± 10 V a ± 5 V

Vstupní napěťová nesymetrie zesilovačů řady B080D je maximálně 15 mV, typicky 5 mV. Měřené podtypy mají nesymetrii zmenšenu na max. 6 a 3 mV. Teplotní součinitel vstupní napěťové nesymetrie je v daném dovoleném rozsahu teplot okolí typicky $10 \mu\text{V/K}$, ovšem výrobce jej nezaručuje, takže se dá očekávat poměrně velký toleranční rozptyl. Směr teplotního posuvu může být kladný i záporný. Proto teplotní závislost se dá jen obtížně kompenzovat vnějšími součástkami. Závislost vstupní napěťové nesymetrie na napájecím napětí je na obr. 15.

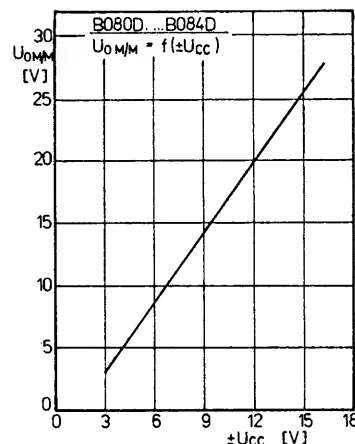


Obr. 15. Průběh vstupní napěťové nesymetrie obvodů řady B080D v závislosti na napájecím napětí

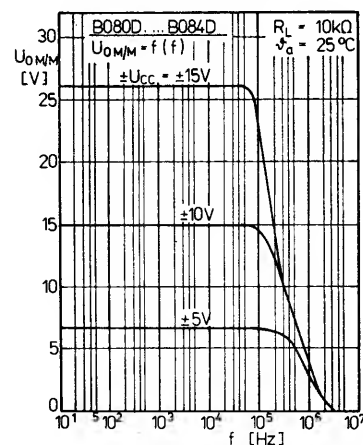
Vnější zapojení k nulování vstupní napěťové nesymetrie činí obvod B081D vývodově a funkčně plně slučitelný s bipolárním operačním zesilovačem $\mu\text{A}741\text{TC}$.

Vstupní diferenční napětí zesilovačů řady B080D smí být nejvýše ± 30 V, souhlasné napětí ± 15 V, což platí při napájecím napětí ± 15 V a větším. Použijeme-li napájecí napětí menší než ± 15 V, musí být maximální vstupní napětí rovné napájecímu napětí. V praktickém provozu má být vstupní napětí nejméně 4 V „nad záporným“, popř. o 4 V „pod kladným napájecím napětím“. Jinak vznikají problémy se závěrným chováním vstupu zesilovače.

Výstupní napětí operačních zesilovačů je omezeno napěťovou vybuditelností koncového stupně. Podobně omezuje proudová vybuditelnost koncového stupně maximální výstupní proud, takže se zatěžovací odpor přes dosažený vnitřní odpor nemůže volit libovolně malý. Doporučený odpor zatěžovacího rezistoru je 2 k Ω . Závislost výstupního mezivrcholového napětí zesilovačů řady B080D na napájecím napětí je graficky znázorněna na obr. 16, na provozním kmitočtu na obr. 17.

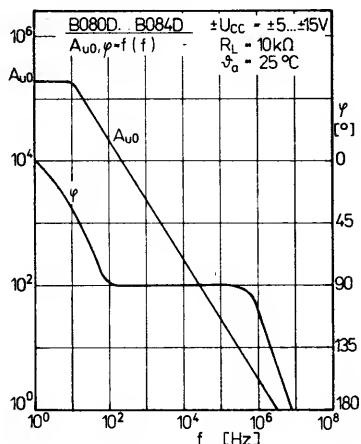


Obr. 16. Výstupní mezivrcholové napětí integrovaných obvodů řady B080D v závislosti na napájecím napětí



Obr. 17. Průběh výstupního mezivrcholového napětí obvodů řady B080D v závislosti na provozním kmitočtu při napájecím napětí ± 5 V, ± 10 V a ± 15 V

Napěťové zesílení operačních zesilovačů řady B080D je kmitočtově závislé. Při teplotě 25°C a zátěži 2 k Ω je průměrné zesílení velmi vysoké (200 000), zaručované zesílení je podle typu od min. 25 000 výše. Grafická závislost napěťového zisku při otevřené smyčce a posuv fáze na provozním kmitočtu na obr. 18 blíže určuje chování zesilovačů při



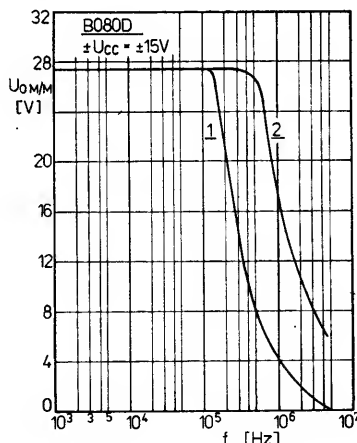
Obr. 18. Průběh napěťového zesílení otevřené smyčky a posuvu fáze operačního zesilovače řady B080D v závislosti na provozním kmitočtu

vyšších kmitočtech. Z grafu je možno vyvodit zmenšení maximální úrovně nezkresleného výstupního signálu při vyšším provozním kmitočtu.

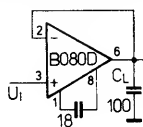
Popisované operační zesilovače se napájejí symetrickým napětím od ± 5 do ± 18 V. Při napětí menším než ± 5 V není možno zaručit plně užitečný rozsah vstupního souhlasného napětí a tudíž spolehlivý provoz.

Ještě několik poznámek k dynamickým vlastnostem popsaných operačních zesilovačů řady B080D:

Vstupy zesilovačů jsou upraveny pro maximální průběh s typickou velikostí $13 \text{ V}/\mu\text{s}$ při symetrickém vstupním impulsu 10 V vůči nulovému potenciálu. Pouze u operačního zesilovače typu B080D je možné ovlivňovat rychlost průběhu změnou kapacity kompenzačního kondenzátoru C_C (viz obr. 8a). Použije-li se C_C s kapacitou 15 pF , dosáhne rychlost průběhu $16 \text{ V}/\mu\text{s}$, při 18 pF se rychlost průběhu zmenší na $13 \text{ V}/\mu\text{s}$ a při 47 pF bude pouze $5 \text{ V}/\mu\text{s}$.



Obr. 19. Průběh výstupního napětí operačního zesilovače B080D v závislosti na kmitočtu ovlivňuje použitý způsob kmitočtové kompenzace; křivka 1 platí při kompenzačním zapojení podle obr. 20, křivka 2 platí při přední kompenzaci podle obr. 21

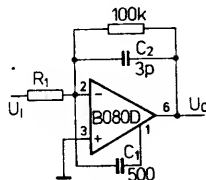


Obr. 20. Obvyklé zapojení kmitočtové kompenzace obvodu B080D s výsledným průběhem výstupního napětí podle křivky 1 na obr. 19

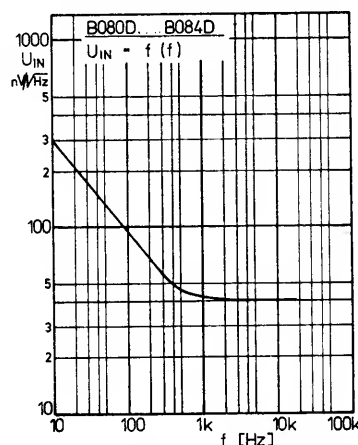
Typická velikost překmitu 25 % platí při rychlosti průběhu $13 \text{ V}/\mu\text{s}$ a vstupním napětí 20 mV .

Doba náběhu zesilovačů je v provozu s malým signálem se vstupním napětím 20 mV kratší než 100 ns .

Mezní průchodový kmitočty zesilovačů při zesílení 1 je $2,5 \text{ MHz}$. Jeho velikost je však dána vnějším zapojením. Informativní průběhy výstupního napětí zesilovače B080D se dvěma způsoby vnější kmitočtové kompenzace jsou na obr. 19. Na obr. 20 je běžný způsob kmitočtové kompenzace, na obr. 21 zapojení přední kompenzace.



Obr. 21. Zapojení přední kmitočtové kompenzace obvodu B080D s průběhem výstupního napětí podle křivky 2 na obr. 19



Obr. 22. Průběh vstupního šumového napětí operačních zesilovačů řady B080D v závislosti na kmitočtu

Ekvivalentní vstupní šumové napětí zesilovačů řady B080D je typicky $35 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ při odporu zdroje signálu 100Ω , měřeno signálem 1 kHz . Průběh vstupního šumového napětí v závislosti na kmitočtu je patrný z diagramu na obr. 22. Šumové napětí zůstává konstantní v rozsahu od 2 kHz do 200 kHz , se snižujícím se kmitočtem se šumové napětí prudce zvětšuje na $300 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ na kmitočtu 10 Hz .

Operační zesilovače BIFET s malým příkonem

Integrované obvody RFT B060D, B061D, B062D, B064D A B066D

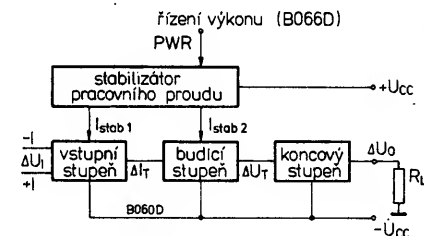
z výroby podniku VEB Halbleiterwerk, Frankfurt/Oder, NDR, jsou monolitické operační zesilovače, vyrobené bipolární technologií s přechodovými, polem řízenými tranzistory na vstupu vstupního stupně. Hlavní předností popisovaných zesilovačů je podstatně zmenšený příkon ve srovnání se základní řadou operačních zesilovačů B080D. Zesilovače řady B060D (s výjimkou typu B066D) jsou vývodově plně slučitelné se stejně označenými obvody řady B080D. Jejich další předností je velký vstupní odpor, velký rozsah vstupního souřázového a diferenčního napětí, odolnost proti zkratu na výstupu (při dodržení maximálního ztrátového výkonu), odolnost proti zablokování funkce a při-

kon zmenšený prakticky na jednu desetinu příkonu obvodů řady B080D. To vše umožňuje použít je jako univerzální součástky především v přístrojích s bateriovým napájením.

U operačního zesilovače B066D je možné vnějším rezistorem R_{EXT} řídit příkon (při plném příkonu lze dosáhnout výkonu obvodu B061D). Zesilovač B066D lze tedy označit jako říditelné provedení základního zesilovače B061D.

Podobně jako již popsaná řada základních operačních zesilovačů B080D i tato řada zesilovačů s malým příkonem má celkem pět provedení zesilovačů. Jejich přehled je uveden spolu se zapojením vývodů v tab. 6. Jednotlivé typy jsou vývodově slučitelné s typy se zakončením stejnou číslicí v typovém znaku obvodů řady B080D. V mnoha případech je možná přímá náhrada i po elektrické stránce. Zde je třeba uvést, že v řadě popisovaných obvodů není typ dvojitý zesilovač s možností nulování vstupní nesymetrie.

Operační zesilovače BIFET řady B060D (tab. 7 a 8) jsou lineární obvody v bipolárním provedení, v jejichž vstupním stupni a proudovém napájecím stupni jsou použity přechodové, polem řízené tranzistory s vodivostí p. Použitím těchto tranzistorů ve vstupním stupni (oblast jejich řídicích elektrod a kanálu je iontově implantována) se dosáhlo velmi malého vstupního klidového proudu a malé vstupní proudové nesymetrie. Další předností je vnitřní kmitočtová kompenzace, čímž se snižuje počet vnějších diskretních součástek potřebných k provozu zesilovače na minimum. Funkční skupinové zapojení operačních zesilovačů řady B060D je na obr. 23.



Obr. 23. Funkční skupinové zapojení operačních zesilovačů řady B060D

Řada zesilovačů s vnitřní kmitočtovou kompenzací obsahuje jednoduchý zesilovač B061D, dvojitý zesilovač B062D a čtyřnásobný zesilovač B064D. Jako zvláštní provedení se může označit jednoduchý zesilovač B060D, který má vyvedeny vývody pro vnější kompenzaci a zlepšení dynamických vlastností. Další upravené provedení jednoduchého zesilovače B061D, které je označeno typovým znakem B066D, je vybavené vývodem pro připojení vnějšího rezistoru, jímž se řídí jeho příkon.

Každý typ operačního zesilovače řady B060D se dodává ve čtyřech výběrových provedeních, která jsou v typovém znaku označena malým písmenem:

- D – základní typ pro běžná použití,
- Dm – měřený typ pro náročnější použití,
- Dp – měřený typ pro velmi náročná použití,
- Dt – výběrový typ pro použití v rozšířeném rozsahu pracovní teploty od -25 do $+85^\circ\text{C}$.

Vnitřní elektrické zapojení integrovaných obvodů řady B060D je na obr. 24. Ve srovnání s vnitřním elektrickým zapojením obvodů řady B080D je možné nalézt řadu společ-

Tab. 6. Přehled operačních zesilovačů BIFET s malým příkořem řady B060D

Typ	Počet systémů	Kompence, nulování, jiné vlastnosti	Rozsah provozní teploty	Pouzdro	Zapojení vývodů	Vývodové schémata
B060D	1	vnější nulování	A	DIL-8	25	$\mu A748$
B060Dm	1	vstupní nesymetrie	A	DIL-8	25	
B060Dp	1	vnější kmitočtová kompenzace	A	DIL-8	25	
B060Dt	1		B	DIL-8	25	
B061D	1	vnější nulování	A	DIL-8	26	$\mu A741$
B061Dm	1	vstupní nesymetrie	A	DIL-8	26	
B061Dp	1	vnitřní kmitočtová kompenzace	A	DIL-8	26	
B061Dt	1		B	DIL-8	26	
B062D	2	vnitřní kmitočtová kompenzace	A	DIL-14	27	MC1458, MA1458, RC4558
B062Dm	2		A	DIL-14	27	
B062Dp	2		A	DIL-14	27	
B062Dt	2		B	DIL-14	27	
B064D	4	vnitřní kmitočtová kompenzace	A	DIL-14	28	LM324, $\beta M324$
B064Dm	4		A	DIL-14	28	
B064Dp	4		A	DIL-14	28	
B064Dt	4		B	DIL-14	28	
B066D	1	programování napájecího proudu,	A	DIL-8	29	$\mu A776$
B066Dm	1	vnější nulování	A	DIL-8	29	MC1776
B066Dp	1	vstupní nesymetrie,	A	DIL-8	29	B176D
B066Dt	1	vnitřní kmitočtová kompenzace	B	DIL-8	29	

Rozsah provozní teploty:

A: 0 až +70 °C; B: -25 až +85 °C.

Tab. 7. Mezní údaje operačních zesilovačů B060D, B061D, B062D, B064D, B066D

Platí v celém rozsahu dovolených provozních teplot.	
Napájecí napětí ¹⁾	$\pm U_{CC} = 0$ až 18 V.
Vstupní napětí diferenční ²⁾	$U_{ID} = -30$ až +30 V.
Vstupní napětí soufázové ¹⁾ ³⁾	$U_{IB} = -15$ až +15 V.
Ztrátový výkon celkový $\vartheta_a = +25$ °C	$P_{tot} = 680$ mW.
Rozsah pracovní teploty okolí B06.D, B06.Dm, B06.Dp B06.Dt	$\vartheta_a = -10$ až +70 °C. $\vartheta_a = -25$ až +85 °C. $\vartheta_j \leq 115$ °C.
Teplota přechodu	$\vartheta_{sig} = -55$ až +150 °C.
Rozsah skladovacích teplot	
Doba trvání výstupního proudu zkratového ⁴⁾	t_k neomezena.

- Všechny údaje napětí se vztahují, s výjimkou vstupního diferenčního napětí, k nulové úrovni (zemnímu potenciálu) napájecího napětí. Nulová úroveň se rovná střednímu napětí mezi napětími $-U_{CC}$ a $+U_{CC}$.
- Vstupní diferenční napětí je napětí neinvertujícího vstupu vztažené vůči invertujícímu vstupu, $U_I \leq U_{CC}$.
- Vstupní napětí musí být menší, popříp. se může rovnat napájecímu napětí, nesmí však být větší než 15 V.
- Výstup se může zkratovat vůči napájecímu napětí nebo zemnímu potenciálu, avšak teplota a (nebo) napájecí napětí se musí omezit tak, aby se nepřekročil dovolený ztrátový výkon.

Tab. 8. Charakteristické údaje operačních zesilovačů B060D až B066D

Statické údaje	
Platí při $\vartheta_a = 25$ °C – 5 K, $U_{CC} = \pm 15$ V ± 1 %, není-li uvedeno jinak	
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S = 10$ k Ω : B060D, B061D, B062D, B064D, B066D B060Dm, B061Dm, B062Dm, B064Dm, B066Dm B060Dp, B061Dp, B062Dp, B064Dp, B066Dp B060Dt, B061Dt, B062Dt, B064Dt, B066Dt $R_S = 10$ k Ω , $\vartheta_a = -10$ °C až +70 °C: B060D, B061D, B062D, B064D, B060D B060Dm, B061Dm, B062Dm, B064Dm, B066Dm B060Dp, B061Dp, B062Dp, B064Dp, B066Dp $R_S = 10$ k Ω , $\vartheta_a = -25$ až +85 °C: B060Dt, B061Dt, B062Dt, B064Dt, B066Dt	$U_O = \text{jmen. } 5; \leq 15$ mV, $U_{IO} = \text{jmen. } 3; \leq 6$ mV, $U_O = \text{jmen. } 2; \leq 3$ mV, $U_O = \text{jmen. } 3; \leq 6$ mV; $U_{IO} \leq 20$ mV, $U_{IO} \leq 7,5$ mV, $U_O \leq 5,0$ mV, $U_{IO} \leq 9,0$ mV.

ných, ale i rozdílných detailů zapojení, jimiž se dosáhlo právě zvláštních vlastností popísaných zesilovačů. Vstupní stupeň je opět osazen dvojicí přechodových, polem řízených tranzistorů T_2, T_3 , které tvoří diferenční zesilovač, jehož zátěží je aktivní proudové zrcadlo s tranzistory n-p-n T_6 a T_7 . Z kolektoru tranzistoru T_7 se po přeměně diferenčního signálu odebrá vzniklý „jednosměrný“ signál. Kombinace tranzistorů T_4 a T_5 při negativním vybuzení působí přitom současně jako omezovač výstupního signálu.

Koncový stupeň, pracující opět ve třídě AB, tvoří tranzistory T_{12}, T_{14} , které spolupracují se zapojením pro vytváření předpětí s tranzistory T_{10}, T_{11} . Tranzistor T_8 využívá při kladném vybuzení k omezování výstupního proudu napětí na rezistoru R_7 , při záporném vybuzení naproti tomu součástek T_4 a R_5 .

Zdroj referenčního proudu tvoří tranzistory T_{14} až T_{19} ve spojení s rezistorem R_9 . U integ-

Dynamické jmenovité údaje pouze pro B066D ²⁾
Platí při $U_{CC} = \pm 15$ V, $R_L = 10$ k Ω , $C_L = 100$ pF

Doba překmitu $U_I = 10$ V	SR = 3,5 V/ μ s.
Šířka pásma pro $A_v = 1$	$f_t = 1$ MHz.
Součinitel překmitu	25 %.

Rozkmit výstupního napětí

(mezivrcholová hodnota)

 $R_L = 10$ k Ω , $\vartheta_a = -10$ °C až +70 °C:

B06.D, B06.Dm, B06.Dp

 $R_L = 10$ k Ω , $\vartheta_a = -25$ až +85 °C:

B06.Dt

Potlačení souhlasného signálu

 $U_{IB} = \pm 10$ V, $R_S = 10$ k Ω :

B06.D

B06.Dm, B06.Dp, B06.Dt

Potlačení vlivu napájecího napětí

 $U_{CC1} = 8$ V, $U_{CC2} = \pm 18$ V, $R_S = 10$ k Ω :

B06.D

B06.Dm, B06.Dp, B06.Dt

Proudová spotřeba každého zesilovače

Vstupní proudová nesymetrie

 $\vartheta_a = +25$ °C:

B06.D

B06.Dm, B06.Dp, B06.Dt

 $\vartheta_a = -10$ až +70 °C:

B06.D

B06.Dm, B06.Dp

 $\vartheta_a = -25$ až +85 °C:

B06.Dt

Vstupní klidový proud

 $\vartheta_a = +25$ °C:

B06.D

B06.Dm, B06.Dp, B06.Dt

 $\vartheta_a = -10$ až +70 °C:

B06.D

B06.Dm, B06.Dp

 $\vartheta_a = -25$ až +85 °C:

B06.Dt

Teplotní součinitel vstupní napěťové

nesymetrie

Napěťové zesílení otevřené smyčky

 $U_O = \pm 10$ V, $R_L = 10$ k Ω :

B06.D

B06.Dm, B06.Dp, B06.Dt

 $\vartheta_a = -10$ až +70 °C:

B06.D

B06.Dm, B06.Dp

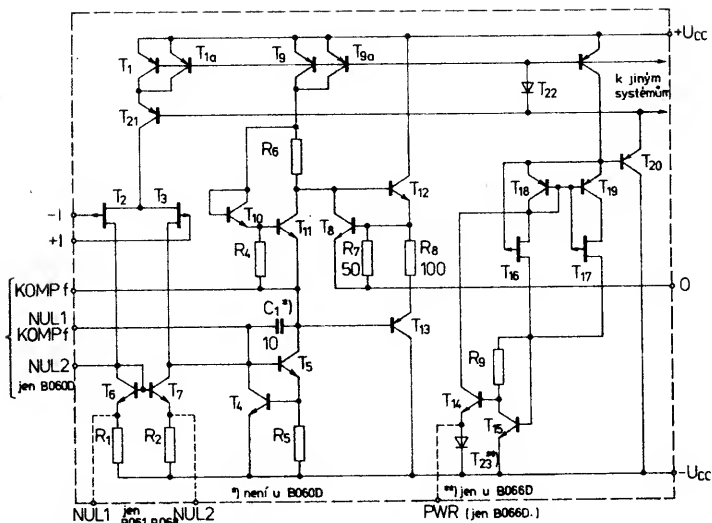
 $\vartheta_a = -25$ až +85 °C:

B06.Dt

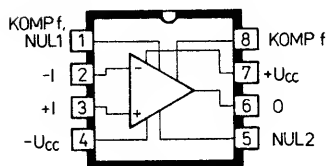
Vstupní odpor

Rozsah vstupního napětí ¹⁾ $U_{O\text{ MM}} = \text{jmen. } 25; \geq 20$ V; $U_{O\text{ MM}} = \text{jmen. } 25; \geq 20$ V.CMR = jmen. 92; ≥ 70 dB,CMR = jmen. 95; ≥ 80 dB.SVR = jmen. 95; ≥ 70 dB,SVR = jmen. 95; ≥ 80 dB. $I_{CC} = \text{jmen. } 200; \leq 250$ μ A. $I_{IO} = \text{jmen. } 5; \leq 200$ pA, $I_{IO} = \text{jmen. } 5; \leq 100$ pA; $I_{IO} \leq 5$ nA, $I_{IO} \leq 3$ nA; $I_{IO} \leq 10$ nA. $I_{IB} = 30; \leq 400$ pA, $I_{IB} = 30; \leq 200$ pA; $I_{IB} \leq 10$ nA, $I_{IB} \leq 7$ nA; $I_{IB} \leq 20$ nA.TK_{UIO} = jmen. 10 μ V/K. $A_{VO} = \text{jmen. } 6; \geq 3 \cdot 10^3$, $A_{VO} = \text{jmen. } 6; \geq 4 \cdot 10^3$; $A_{VO} = 3 \cdot 10^3$, $A_{VO} \geq 4 \cdot 10^3$; $A_{VO} \geq 4 \cdot 10^3$. $R_i = \text{jmen. } 10^{12}$ Ω . $U_i = +14,5$ V, $U_i = -12,5$ V.

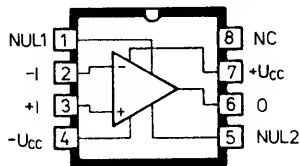
- Rozsah vstupního napětí je úzce svázán s napájecím napětím. K zaručení funkce musí být vstupní napětí o 2 V menší než $\pm U_{CC}$.
- Dynamické údaje platí pouze pro typ B066D, za podmínky, že budící vstup pro řízení výkonu (vývod 08) je spojen s napájecím napětím $-U_{CC}$.



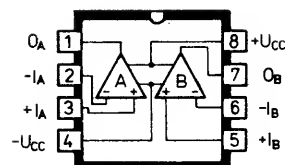
Obr. 24. Vnitřní elektrické zapojení operačních zesilovačů řady B060D



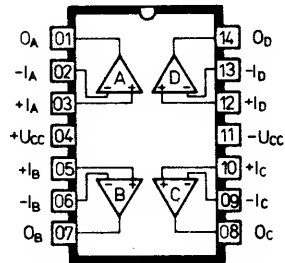
Obr. 25. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B060D



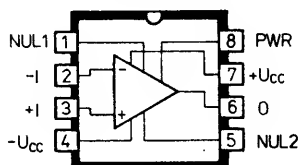
Obr. 26. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B061D



Obr. 27. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B062D



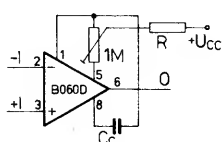
Obr. 28. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B064D



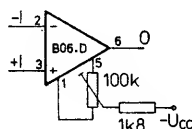
Obr. 29. Zapojení vývodů operačních zesilovačů B066D

rovaného obvodu B066D je zařazena do obvodu emitoru T_{14} dioda T_{23} a emitor tohoto tranzistoru je samostatně vyveden na vývod č. 8. Spojí-li se tento vývod vnějším rezistorem s vhodným odporem se záporným napájecím napětím, může se příkon zesilovače B066D řídit od minimálního napájecího proudu až po plný výkon, který se pak rovná výkonu obvodu B061D. U jiných typů zesilovačů není tato dioda použita. Uvnitř této funkční skupiny pracuje tranzistor T_{15} jako referenční. Zdroj referenčního proudu tvoří v celém přípustném rozsahu napájecího napětí a provozních teplot proudovou „banku“ (tranzistory T_1 , T_9 a T_{24}), která dodává konstantní proud, jímž se napájejí vstupní a buďící stupeň. U několika systémových zesilovačů se používá jeden zdroj referenčního proudu opět pro dva, jinak identické zesilovací systémy.

Všechny operační zesilovače s jedním systémem mají vyvedeny vývody pro vnější nulování vstupní nesymetrie. Způsob zapojení vnějšího nulovacího obvodu je podobný jako u zesilovačů řady B080D, odlišuje se pouze odporem použitých rezistorů. Doporučené zapojení ke kompenzaci vstupní napěťové nesymetrie obvodů B061D a B066D je na obr. 30, zapojení ke kompenzaci vstupní napěťové nesymetrie a kmitočtové kompenzace obvodu B060D je na obr. 31. Odpor rezistoru R se musí volit podle použitého napájecího napětí. Při nejmenším napájecím napětí ± 3 V je odpor rezistoru R asi $5,1 \text{ M}\Omega$, při napětí ± 15 V asi $20 \text{ M}\Omega$. Mezi těmito krajními body napětí se může při



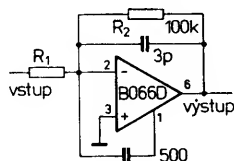
Obr. 30. Způsob nulování vstupní napěťové nesymetrie obvodů B061D a B066D



Obr. 31. Zapojení pro nulování vstupní napěťové nesymetrie a kmitočtové kompenzace obvodu B060D

jiných napájecích napětích odpor rezistoru R lineárně interpolovat.

K rozšíření kmitočtového rozsahu zesilovače B060D se může použít též přední kompenzace podle obr. 32. Toto kompenzační zapojení je účelné pro zesílení až do 40 dB. Mezi vývody 1 a 2 je připojen kondenzátor 500 pF , k rezistoru $100 \text{ k}\Omega$ je paralelně připojen kondenzátor 3 pF . Kapacita kondenzátoru se musí vybrat na minimální překmit zesilovače.



Obr. 32. Kompenzační zapojení integrovaného obvodu B060D v předním směru

Programování operačního zesilovače B066D

Řízení příkonu (napájecího proudu) operačního zesilovače B066D pomocí vnějšího rezistoru R_{EXT} v zapojení podle obr. 33 se v důsledku jeho působení označuje jako programování. Dioda T_{23} v emitorovém vývodu tranzistoru T_{14} způsobuje pozorovatelné zmenšení celkového napájecího proudu integrovaného obvodu, které je samozřejmě spojeno se změnou vlastností zesilovače. K tomu několik vysvětlivek.

Jestliže přemostíme diodu T_{23} rezistorem R_{EXT} (v literatuře NDR se označuje jako R_{LS}), vlastnosti obvodu B066D se pomalu přibližují v závislosti na nastavení napájecího proudu vlastnostem zesilovače B061D. Bude-li odpor tohoto rezistoru R_{EXT} rovný nule, budou vlastnosti B066D zcela shodné s vlastnostmi zesilovače B061D. Následující vztah pro nastavení určitého napájecího proudu byl vypracován na základě vlastností vnitřní struktury zesilovače:

$I_{CC} = 2,85 I_{CC(0)} / (2,85 + R_{EXT})$,
kde I_{CC} je výsledný (nastavený) napájecí proud,

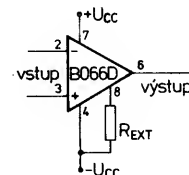
$I_{CC(0)}$ napájecí proud při $R_{EXT} = 0$ (prakticky odpovídá napájecímu proudu obvodu B061D),

R_{EXT} odpor vnějšího rezistoru mezi vývody 4 a 8 obvodu B066D (v $k\Omega$).

Pro žádaný proud I_{CC} se vypočte odpor rezistoru R_{EXT} podle následujícího upraveného vztahu:

$$R_{EXT} = 2,85 [(I_{CC(0)} / I_{CC}) - 1] \text{ [k}\Omega; \text{mA, mA]}$$

Rozdíl mezi způsobem programování operačního zesilovače B066D a dále popsanými programovatelnými zesilovači B176D a B177D spočívá pouze v tom, že zesilovač B066D je možné vnějším rezistorem zcela vyřadit z funkce.



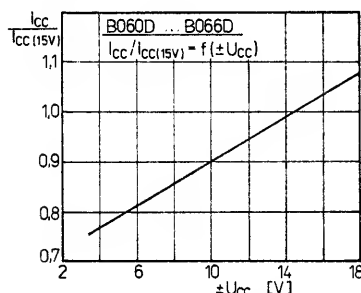
Obr. 33. Zapojení k řízení příkonu (napájecího proudu) operačního zesilovače B066D

Operační zesilovače B060D, B061D, B062D a B066D jsou v plastovém pouzdru DIL-8 s 2× čtyřmi vývody ve dvou řadách, B064D v pouzdru DIL-14 s 2× sedmi vývody ve dvou řadách. Zapojení vývodů všech pěti zesilovačů je uvedeno v tab. 6 a na obr. 25 až 29. Funkce vývodů: +I – neinvertující vstup; –I – invertující vstup; NUL1, NUL2 – vývody pro připojení vnějších součástek pro nulování vstupní nesymetrie; KOMP f – vývody pro připojení vnějších součástek ke kompenzaci kmitočtových vlastností operačního zesilovače; PWR – vývod pro připojení rezistoru pro řízení (programování) příkonu operačního zesilovače.

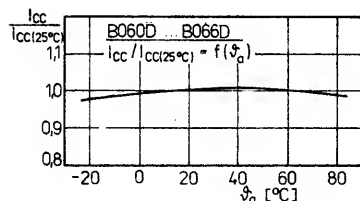
Elektrické vlastnosti

Úplné elektrické vlastnosti integrovaných obvodů B060D až B066D včetně jejich měřených podtypů jsou v tab. 7 a 8, kde jsou uváděny mezní údaje, typické a zaručované hraniční údaje nejdůležitějších vlastností tak, jak je zaručuje výrobce. Další informace je možné využít ze zveřejněných grafických závislostí, které jsou vhodnou pomůckou pro konstruktéry elektronických přístrojů.

Na obr. 34 je závislost poměru napájecího proudu při daném napětí k napájecímu proudu při napětí ± 15 V v rozsahu napětí od ± 2 V do ± 18 V, na obr. 35 v závislosti na



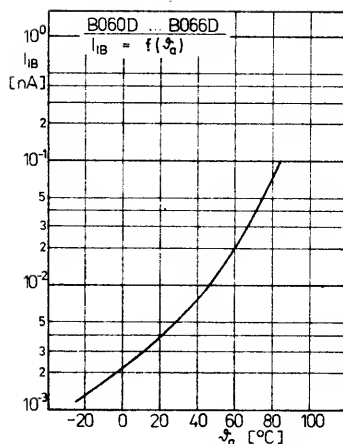
Obr. 34. Napájecí proud operačního zesilovače řady B060D v závislosti na napájecím napětí



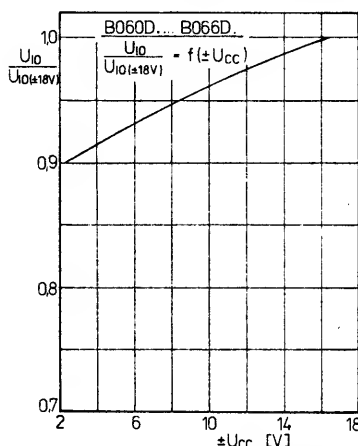
Obr. 35. Napájecí proud operačních zesilovačů řady B060D v závislosti na teplotě okolí

teplotě okolí od -25 do $+85$ °C. Na prvním grafu vidíme lineární zvětšování napájecího proudu se zvětšujícím se napájecím napětím. V rozsahu teploty od 0 do $+70$ °C se však napájecí proud téměř nemění, při poklesu teploty na -25 °C a při zvýšení teploty na $+85$ °C se proud zmenší jen velmi mírně. Zde je patrné působení výborných vlastností vnitřního referenčního zdroje.

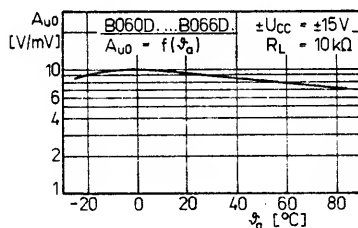
Pro konstruktéry je velmi užitečná závislost vstupního klidového proudu, který je podle obr. 36 silně teplotně závislý, i když je klidový proud jako typický údaj v katalogovém listu neobvykle malý. Závislost poměru vstupní napětové nesymetrie při napájecím napětí ± 2 až ± 18 V k nesymetrii při napětí ± 18 V je na obr. 37 pro celý rozsah napájecího napětí.



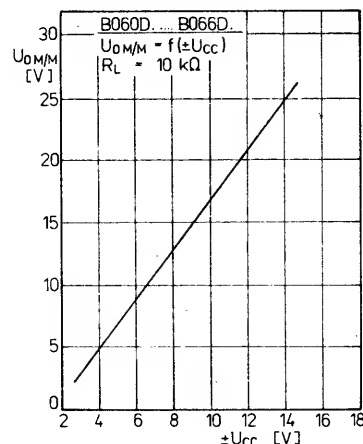
Obr. 36. Klidový proud operačních zesilovačů řady B060D v závislosti na teplotě okolí



Obr. 37. Závislost vstupní napětové nesymetrie operačních zesilovačů řady B060D na napájecím napětí

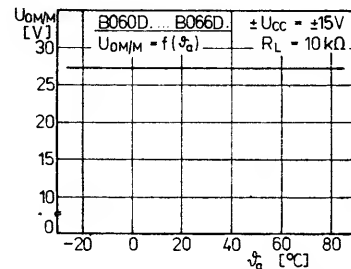


Obr. 38. Napětové zesílení otevřené smyčky operačních zesilovačů řady B060D na teplotě okolí



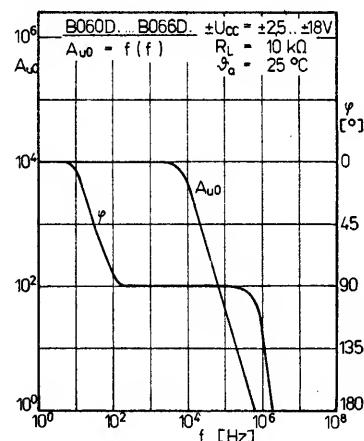
Obr. 39. Závislost výstupního napětí operačních zesilovačů řady B060D na napájecím napětí

Na obr. 38 je grafická závislost napětového zesílení při otevřené smyčce zesilovače na teplotě okolí. Mírné zmenšení zesílení je možné zaznamenat se zvyšováním teploty na $+70$ °C (asi o 30 %) i při snížení teploty na -25 °C (asi o 17 %). Výstupní mezivrcholové napětí se zvětšuje se zvětšujícím se napájecím napětím. Tato závislost v rozsahu napájecího napětí od 2,5 do 15 V při zatěžovacím odporu 10 kΩ je graficky zobrazena na obr. 39. Ze závislosti na obr. 40 je patrná prakticky úplná necitlivost výstupního napětí na teplotě, které při napájecím napětí ± 15 V zůstává konstantní v celém rozsahu pracovních teplot od -25 do $+85$ °C.



Obr. 40. Výstupní napětí operačních zesilovačů řady B060D na teplotě okolí

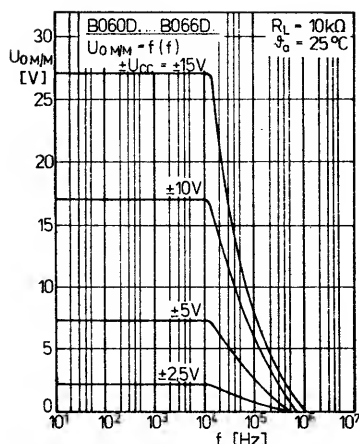
Kmitočtové vlastnosti operačních zesilovačů řady B060D blíže doplňují další grafické závislosti. Průběh napětového zesílení v rozsahu napájecího napětí od $\pm 2,5$ do 18 V, který svou typickou velikostí 10 000 není právě největší, a posuv fáze v závislosti na kmitočtu je možné přičíst z diagramu na obr. 41. Zesílení se již od kmitočtu okolo 300 Hz lineárně zmenšuje, na 1 MHz je pouze 1.



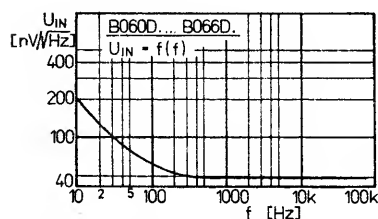
Obr. 41. Průběh napětového zesílení a posuvu fáze operačních zesilovačů řady B060D v závislosti na kmitočtu

Z jednotlivých křivek na obr. 42 lze soudit, nakolik je výstupní napětí operačních zesilovačů závislé na kmitočtu při napájecích napětích $\pm 2,5$ V, ± 5 V, ± 10 V a ± 15 V. Šumové vlastnosti zesilovačů řady B060D v závislosti na kmitočtu jsou na obr. 43. Zde je nutno připomenout, že přechodové, polem řízené tranzistory mají všeobecně větší šum než klasické čistě bipolární tranzistory.

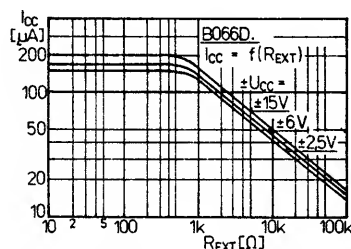
Následujících pět charakteristik zobrazuje změny vlastností operačního zesilovače B066D při jeho programování vnějším rezistorem. Počáteční údaj platí vždy v nenaprogramovaném stavu (což odpovídá vlastnostem zesilovače B061D). Z obr. 44 je možné zcela jednoznačně zjistit, nakolik má na velikost napájecího proudu vliv vnější rezistor s odporem větším než 500 Ω. Při



Obr. 42. Závislost výstupního napětí při různých napájecích napětích operačních zesilovačů řady B060D na kmitočtu



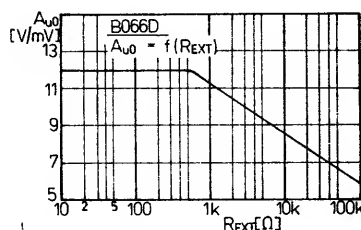
Obr. 43. Průběh vstupního šumového napětí operačních zesilovačů řady B060D na kmitočtu



Obr. 44. Závislost řízení napájecího proudu B066D na odporu vnějšího programovacího rezistoru R_{EXT}

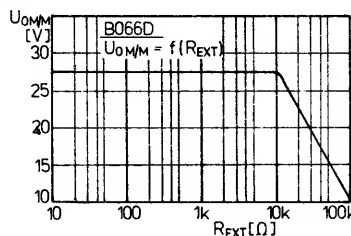
blíže v rozsahu odporu od 1 kΩ do 100 kΩ se proud lineárně zmenšuje. Znamená to, že změnou odporu z 1 kΩ na 100 kΩ se zmenší napájecí proud na jednu desetinu počátečního proudu. K tomu ještě příklad: Vnější rezistor R_{EXT} s odporem 17 kΩ umožní při napájecím napětí ± 2 V průtok napájecího proudu 25 μ A, tzn. příkon obvodu je 100 μ W. Při tomto malém příkonu bude samozřejmě menší rychlost přeběhu a šířka přenášeného pásma (asi 250 kHz). Bez vnějšího rezistoru je příkon obvodu 700 až 800 μ W při napájecím napětí ± 2 V.

Ve stejném rozsahu odporů rezistoru R_{EXT} se na polovinu zmenší napěťové zesílení



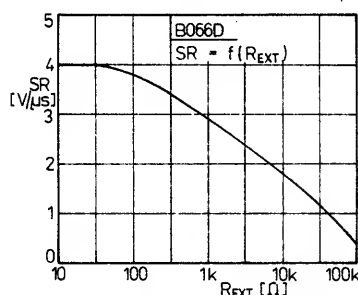
Obr. 45. Napěťové zesílení operačního zesilovače B066D v závislosti na odporu programovacího rezistoru

s otevřenou smyčkou operačního zesilovače B066D, jak udává závislost na obr. 45. Z diagramu na obr. 46 je patrné, že vnější programovací rezistor R_{EXT} ovlivňuje výstupní zesílení zesilovače, který pracuje se zatěžovacím odporem 10 kΩ a napájecím napětím ± 15 V, teprve při odporu větším než 10 kΩ. Pak ovšem zesilovač reaguje poměrně rychle, ale nejvýše asi na méně než polovinu počátečního napětí při zařazení programovacího rezistoru 100 kΩ.



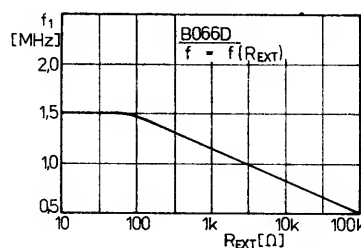
Obr. 46. Výstupní napětí operačního zesilovače B066D v závislosti na odporu programovacího rezistoru

Ještě před pozorovatelným zmenšením napájecího proudu reaguje již rychlost přeběhu zesilovače B066D na zvětšení odporu rezistoru R_{EXT} z velikosti 10 kΩ. Z typického přeběhu 3,5 μ V/ μ s při 10 kΩ se změní asi na 2,8 μ V/ μ s při odporu 1 kΩ a na 0,5 μ V/ μ s při odporu 100 kΩ. Úplný průběh rychlosti přeběhu je na obr. 47.



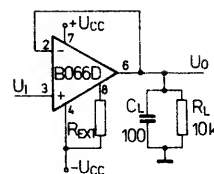
Obr. 47. Rychlost přeběhu operačního zesilovače B066D v závislosti na odporu programovacího rezistoru

Průběh šířky pásma operačního zesilovače B066D v závislosti na programovacím odporu je na obr. 48. Šířka pásma 1,5 MHz je při odporu 10 až 100 Ω téměř konstantní, s větším odporem se téměř lineárně zmenšuje na 0,5 MHz při odporu 100 kΩ. Na základě popsaných charakteristických závislostí je možné operační zesilovač B066D přizpůsobit potřebným pracovním podmínkám.



Obr. 48. Šířka přenášeného pásma operačního zesilovače B066D v závislosti na odporu programovacího rezistoru

Dynamické vlastnosti na obr. 46, 47, 48 jsou měřeny při napájecím napětí ± 15 V, zatěžovacím odporu 10 kΩ a zatěžovací kapacitě 100 pF v pracovním zapojení podle obr. 49.



Obr. 49. Zapojení pro měření dynamických vlastností zesilovače B066D s napěťovým zesílením 1

Provozní doporučení

V mnoha dále popsaných doporučených zapojeních se mohou používat operační zesilovače řady B080D nebo bez změny součástek též zesilovače řady B060D. V úvahu se však musí brát omezení v oblasti vstupního napětí, kterému je věnován další samostatný výklad. Obdobná omezení platí pro stanovení zatěžovacího odporu. Možnost ovlivňovat šířku přenášeného pásma je další důležitou vlastností, které se musí věnovat pozornost při návrhu zapojení.

Operační zesilovače řady B060D se sice mohou provozovat s malým napájecím napětím $\pm 2,5$ V, ovšem napájecí napětí je úzce spjata se vstupním soufázovým napětím, které při $\pm 2,5$ V musí být prakticky nulové. U obvodů s několika systémy platí uvedený maximální ztrátový výkon pro celou součástku, tedy P_{max} je součástí ztrátových výkonů všech používaných systémů vícenásobného operačního zesilovače.

Operační zesilovače s malým příkonem řady B060D se musí z různých pohledů hodnotit jako pomalá série zesilovačů. V mnoha statických a nízkofrekvenčních zapojeních se mohou obě řady zesilovačů B080D a B060D bez problémů zaměnit a doplňovat. Pokud publikované dynamické údaje zesilovačů řady B060D jsou již na hranici projektovaného zapojení, je lepší použít obvody řady B080D, jejichž rychlost přeběhu je asi pětikrát větší.

Problémy se stabilitou provozu obvodů B060D je možné vyřešit kmitočtovou kompenzací kondenzátorem s kapacitou větší než 12 pF. Menší kapacita kompenzačního kondenzátoru pouze nepodstatně zvyšuje náběhovou rychlost, popřípadě šířku pásma přenášeného kmitočtu, ale podstatně se zhorší doba překmitu.

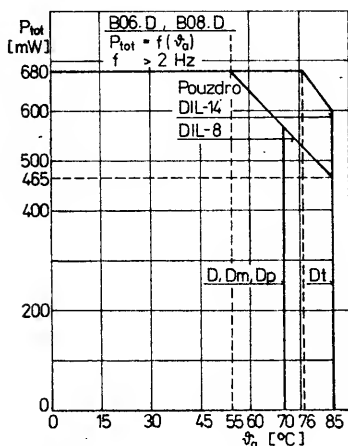
Jedním z nejčastějších případů použití operačních zesilovačů je zapojení jako napěťový sledovač, popřípadě oddělovací zesilovač. V obou případech má velký význam nezávislost zatěžování výstupu. Operační zesilovač se musí používat především se zvětšenou stabilitou vůči kapacitní zátěži (např. se zátěží měřicím kabelem, linkou apod.). V zájmu dobré stability, miní se tím hlavně překmit a doba náběhu, se nemá používat kapacitní zátěž s větší kapacitou než 100 pF.

Společné vlastnosti a slučitelnost operačních zesilovačů řad B080D, B060D

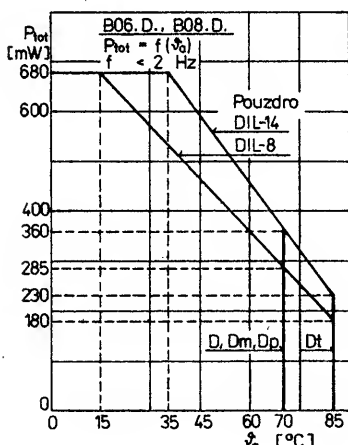
Jednotlivé typy operačních zesilovačů B080D až B084D jsou vývodově slučitelné se stejnými číslováními zesilovači řady B060D až B064D s výjimkou typů B083D, který v řadě B060D není, a typu B066D, který není v základní řadě. Protože struktura obvodů řady B060D je rozměrově menší a navíc jejich systém je navržen tak, aby se dosáhlo menšího příkonu (menšího potřebného napájecího proudu), mohou se zesilovače řady

B060D s výhodou používat v mnoha zapojeních, kde by zesilovače řady B080D tolik nevyhovovaly. Především tam, kde jsou žádoucí malé vstupní proudy a co nejmenší napájecí proud.

Operační zesilovače BIFET řad B080D a B060D se mohou na výstupu zkrátovat jen s ohledem na maximální dovolený ztrátový výkon při skutečně použitém napájecím napětí a skutečné teplotě okolí. Závislost dovoleného maximálního ztrátového výkonu na teplotě okolí udávají pro obě řady zesilovačů diagramy na obr. 50 a 51, které platí při



Obr. 50. Mezní ztrátový výkon integrovaných obvodů řady B060D a B080D v závislosti na teplotě okolí; platí při provozu s kmitočtem vyšším než 2 Hz



Obr. 51. Totéž jako na obr. 60 pro kmitočty nižší než 2 Hz

provozu zesilovače s kmitočtem vyšším než 2 Hz a nižším než 2 Hz. Vyznačené teploty pro jednotlivé provedení zesilovačů D, Dm, Dp a Dt se nesmí překročit. Omezovací křivky platí pro všechny integrované obvody podle použitého plastového pouzdra DIL-8 nebo DIL-14.

Výstupní stupeň operačních zesilovačů řady B080D je částečně chráněn oběma rezistory v emitorech tranzistorů T_{12} a T_{13} (viz vnitřní elektrické zapojení) a sériovým výstupním rezistorem 128 Ω . Vždy je však třeba mít na paměti, že výstupní stupeň je odolný proti přímému zkratu až do celkového ztrátového výkonu celého obvodu max. 680 mW podle uvedených redukčních závislostí.

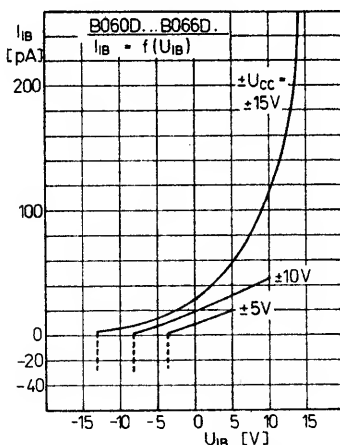
Operační zesilovače řady B060D s malým příkonem mají obdobně jako základní řada zesilovačů dovolený ztrátový výkon 680 mW. Jejich výstup je upraven tak, aby byl odolný proti zkratu podle závislosti na obr. 50 a 51. Operační zesilovače základní řady B080D se mohou při přetížení zcela zničit. Naproti tomu u zesilovačů řady B060D zmenší při přetížení vnitřní proudové omezování ztrátový výkon zcela automaticky. Maximální výstupní proud je při vybuzení kladným napětím omezen na typickou velikost 10 mA, při záporném vybuzení na 25 mA, takže operační zesilovače této řady jsou prakticky při téměř všech provozních podmínkách odolné proti zkratu na výstupu.

Protože maximální přípustný ztrátový výkon je 680 mW stejně jako u základní řady, při rozptýlu typických veličin při vybuzení záporným signálem se může případně maximální ztrátový výkon překročit. Tato skutečnost se v katalogovém listu výrobce neuvádí.

V mezních údajích operačních zesilovačů řady B060D se uvádí: napájecí napětí maximální ± 18 V, vstupní napětí soufázové maximální ± 15 V, vstupní napětí diferenční maximální ± 30 V.

Podmínkou uvedených napětí je, že vstupní napětí bude menší, popřípadě stejné jako napájecí napětí. Mezi charakteristickými statickými údaji je uváděn rozsah vstupního napětí maximálně $\pm 11,5$ V při napájecím napětí ± 15 V, znamená to, že se musí dodržet symetrický odstup vstupního napětí $\pm 3,5$ V vůči napájecímu napětí. Naproti tomu se v příslušné poznámce uvádí, že rozsah vstupního napětí lze využívat až do odstupu 2,5 V napájecího napětí. Mezi konstruktéry zapojení s popsány obvody se proto může vyskytnout rozpor o správnosti obou udaných veličin a o skutečně dovoleném a účelně využívaném rozsahu vstupního napětí.

Průběh vstupního klidového proudu zesilovačů řady B060D v závislosti na vstupním stejnosměrném napětí, zobrazený na obr. 52, podává informace, nakolik se zvětší



Obr. 52. Závislost vstupního klidového proudu obvodů řady B060D na vstupním napětí při konstantním napájecím napětí ± 15 V, ± 10 V a ± 5 V

vstupní proud při přiblížení vstupního napětí k napájecímu napětí. Z grafu je patrné, že vstupní napětí musí mít odstup 2,5 V vůči zápornému napájecímu napětí, čímž se zaručí funkční schopnost zesilovače. K navrhování zapojení, u nichž schází údaj maximálně přípustného vstupního proudu, který by přes příslušný předřadný rezistor chránil operační zesilovač před rušivými signály se známou amplitudou, ještě praktická zkuš-

nost. Měřením na zkušebních systémech u výrobce byly zjištěny impulsní vstupní proudy 100 μ A. Tim je možné stanovit hranici maximálního proudu rovněž 100 μ A. Tento údaj není rovněž obsažen v závazných katalogových údajích, ale může dobře posloužit při spolehlivém využití popsaných zesilovačů. Obdobný proudový údaj zveřejňuje původní výrobce Texas Instruments u zesilovačů řady TL071 a výrobce VEB Halbleiterwerk, Frankfurt/O. u operačních zesilovačů B761 řady (popsaných v AR B 1988, č. 3). Využije-li se již uvedeného hraničního proudu 100 μ A, můžeme vystačit s dostatečnou ochranou při rušivých špičkových napětích do 100 V s předřadným rezistorem 1 M Ω .

U operačních zesilovačů řady B080D se uvádí charakteristický údaj vstupního napětí jednoznačně minimálně ± 15 V, což znamená, že rozsah vstupního napětí je těsně svázán s rozsahem provozního napětí a musí být vždy o 4 V větší než záporné, popřípadě o 4 V menší než kladné napájecí napětí.

Grafická závislost na obr. 52 platí i pro zesilovače řady B080D. Bod kolena (ohybu) křivek vstupních proudů směrem k zápornému napájecímu napětí však leží v poněkud menším odstupu než udávají křivky na tomto obrázku. Je patrné, že rozsahu vstupního soufázového napětí lze často využít až ke kladnému napájecímu napětí při malém zvětšení vstupních proudů. Technický účelně a bez nevýhod můžeme využít u zesilovačů řady B060D rozsah vstupního soufázového napětí až do hranice $+U_{CC} - 0,5$, u základní řady B080D do $+U_{CC}$. Zúžení pevných hranic v katalogových listech není funkčně nijak zdůvodnitelné. Jejich dodržení se znemožní konstrukce mnoha účelových zapojení. K lepší informaci poslouží jeden příklad.

U zesilovačů základní řady B080D je při velkém vstupním napětí (např. ± 10 V) neúčelné napájecí napětí větší o 5 V, mají-li být vstupní proudy co nejmenší. Napájecí napětí větší než ± 12 V zvětší přitom vstupní proudy až na několik nA.

Základní závislosti uvedené na obr. 52 nejsou zcela shodné s křivkami u součástek z nejnovější výroby. Zaručená velikost vstupních proudů se vztahuje na vstupní napětí 0 V při napájecím napětí ± 15 V. Pouze zmenšením kladného napájecího napětí do blízkosti uvedeného maximálního vstupního napětí se mohou vstupní proudy zmenšit při větších vstupních napětích. Při velmi malých napájecích napětích je výhodnější volit nesymetrické vstupní napětí.

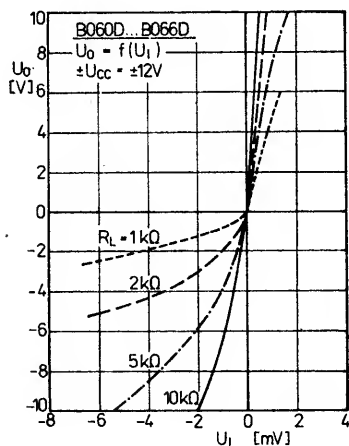
Vnitřní funkční skupina napájecího napětí obvodů řady B060D je v rozsahu provozního napětí až k nejmenším napětím teplotně velmi stabilní, takže rozsah provozních napětí oproti zesilovačům B080D se může rozšířit až k malým napětím. Tento užitečný rozsah napájecího napětí je uveden v elektrických údajích jen nepřímo formou rozsahu vstupního soufázového napětí. Operační zesilovače řady B060D se proto mohou podle jejich vybuzení napájet napětím již od $\pm 2,5$ V. Pro srovnání: U operačních zesilovačů B080D je stanovena dolní hranice napájecího napětí ± 4 V. Funkční skupina napájecího napětí je u dvojitého zesilovače B062D využita pro oba systémy. Protože čtyřnásobné zesilovače jsou vytvořeny jako zrcadlový obraz dvojitého zesilovače na společném čipu, jsou kanály 1 a 4, popřípadě 2 a 3 přiřazeny ke každé funkční skupině napájecího napětí.

Příkon operačního zesilovače B066D se může řídit nebo programovat vnějším rezistorem R_{EXT} , připojeným mezi vývody 8 a $-U_{CC}$. Ovšem pozor! Použije-li se rezistor s odporem větším než 10 k Ω , zvětší se zkreslení přenášeného výstupního signálu.

Chování vstupního stupně operačních zesilovačů obou řad s polem řízeným tranzistorem, u nichž se se zvětšením teploty o 10 K zvětší vstupní proudy na dvojnásobek, předurčuje používat tyto zesilovače při optimální pracovní teplotě 25 °C. Horní hranice pracovní teploty je však výrobcem stanovena na +70 °C, popříp. u obvodů B06. Dt na +85 °C. Teplotní závislost vstupní napěťové nesymetrie je uváděna jako dynamický údaj 10 $\mu\text{V/K}$ pro operační zesilovače B060D až B064D a 20 $\mu\text{V/K}$ pro B066D. Tento údaj byl stanoven při větším teplotním rozdílu jako střední, naměřený a vypočtený u součástek s velkým rozptylem.

Teplotní závislost mezi krajními body teploty v rozsahu napájecího napětí není definována v katalogovém listu. V několika bodech může vybočit ze středního průběhu, v určitém rozsahu může být strmější, ale ve větším teplotním rozsahu může vykazovat 1 $\mu\text{V/K}$. Jestliže je žádoucí v jednotlivých případech malá teplotní závislost, doporučuje se při větším počtu použitých součástek předem zjistit jejich maximální odchylku vstupní nesymetrie v celém rozsahu pracovních teplot. Velmi jednoduše zjistitelná maximální odchylka vstupní nesymetrie v mnoha případech přispěje k lepšímu poznání závod v navrhovaných zapojeních než pouhé respektování publikovaných údajů o teplotní závislosti (10 $\mu\text{V/K}$). U několikanásobných operačních zesilovačů nebývá průběh teplotní závislosti jednotlivých zesilovačů obvykle naprosto stejný.

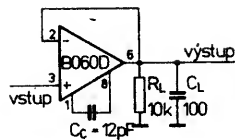
Napěťové zesílení zesilovačů řady B060D s otevřenou smyčkou je měřeno se zatěžovacím odporem 10 k Ω . Vstupní napětí přitom kolísá okolo $\pm 10\text{ V}$, typické napěťové zesílení je 9 V/mV. V jednotlivých případech, kdy se vyžaduje přísně lineární průběh přenosové charakteristiky, se musí věnovat pozornost skutečnosti, že přenosová charakteristika může různě stoupat v kladném i záporném rozsahu. Zvláště při zatěžovacích odporech menších než 10 k Ω bude napěťové zesílení v záporném rozsahu podstatně menší než v kladném rozsahu zesílení. Na obr. 53 je chování obvodu při zatěžovacích rezistorech s odporem 1, 2, 5 a 10 k Ω . Základní řada zesilovačů B080D s větším napěťovým zesílením otevřené smyčky



Obr. 53. Výstupní napětí obvodů řady B060D v závislosti na vstupním napětí při použití zatěžovací impedance 1 až 10 k Ω

($A_{uo} = 20\text{ dB}$), popříp. s menším přípustným zatěžovacím odporem se může mnohem výhodněji používat při přísnějších požadavcích na linearitu.

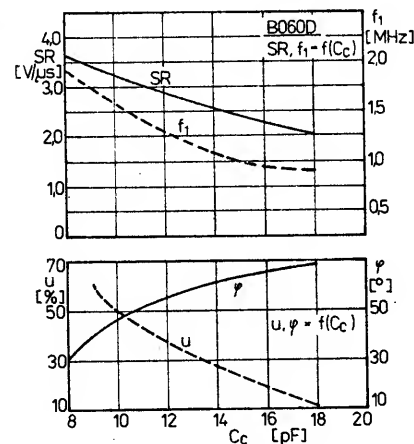
V důsledku menšího napájecího proudu jsou dynamické vlastnosti operačního zesilovače řady B060D odlišné od vlastností zesilovačů B080D. Mezi typické dynamické



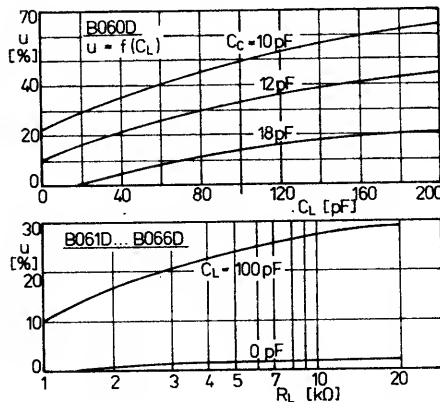
Obr. 54. Měřicí zapojení k měření dynamických vlastností operačních zesilovačů řady B060D

vlastnosti řadíme rychlost přeběhu (2,5 V/ μs), průchozí kmitočet f_1 (1,5 MHz), dobu náběhu (200 ns) a překmit (25 %). Všechny uvedené vlastnosti se měří v zapojení podle obr. 54. Pro stabilitu operačních zesilovačů má při menším zesílení zásadní význam fázový posuv. Typický překmit 25 % ukazuje, že tyto součástky jsou při jednotkovém zesílení použitelné s jistým omezením, neboť mezi posuvem fáze a překmitem je úzká závislost. V těch případech, kdy jsou zdůrazňovány požadavky na stabilitu, je vhodnější použít integrovaný obvod B060D s vnější kompenzací.

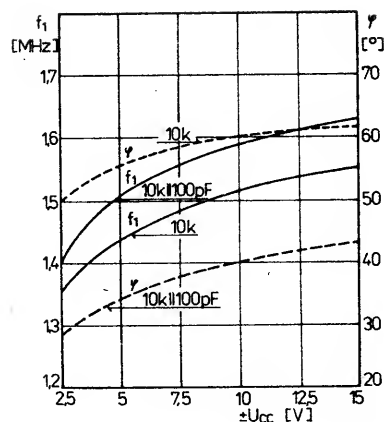
Na obr. 55 je závislost veličin SR, f_1 , posuvu fáze a překmitu na kapacitě kompenzačního kondenzátoru C_c operačního zesilovače B060D. Stabilitu zesilovače s menším zesílením ovlivňují rovněž zatěžovací podmínky. Závislost vlivu různých kapacit kompenzačního kondenzátoru na překmit operačního zesilovače B060D je na obr. 56 nahoře, dolní část obrázku platí pro zesilovače B061D až B066D.



Obr. 55. Závislost rychlosti přeběhu, mezního kmitočtu, posuvu fáze a překmitu integrovaných obvodů B060D na kapacitě kompenzačního kondenzátoru



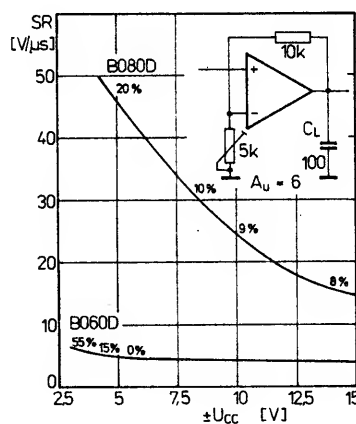
Obr. 56. Překmit v závislosti na zatěžovacích podmínkách operačních zesilovačů řady B060D – v horní části obrázku v závislosti na zatěžovací kapacitě obvodu B060D, v dolní části obrázku na zatěžovacím odporu zesilovačů B061D až B066D



Obr. 57. Závislost průchozího kmitočtu a posuvu fáze operačních zesilovačů řady B060D na napájecím napětí

Menší zvětšení fázového posuvu při menších zatěžovacích odporech je vhodné, neboť proti kapacitní zátěži je zanedbatelné. Známe-li všechny tyto činitele, jsou operační zesilovače s malým příkonem řady B060D ve vhodných pracovních podmínkách vhodné i při jednotkovém zesílení. Na obr. 57 je soubor příslušných závislostí stability a mezního průchozího kmitočtu zesilovače B060D na napájecím napětí. Pro základní řadu zesilovačů B060D platí přibližně stejné závislosti. Potřebujeme-li větší rychlost přeběhu, pak je vhodnější použít integrované obvody řady B080D.

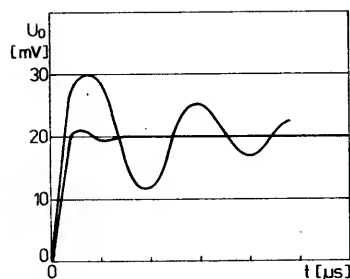
Na obr. 58 je porovnání závislosti změny rychlosti přeběhu zesilovačů B080D a B060D se zesílením 8 při zmenšování kompenzační kapacity. Malá rychlost přebě-



Obr. 58. Porovnání závislosti změny rychlosti přeběhu na kapacitě kondenzátoru (kompenzačního) operačního zesilovače B060D a B080D, pracujících se zesílením 8

hu se u B060D mění jen velmi málo. Kompenzační kapacity C_c jsou přiřazeny překmitu. Vliv překmitu pro amplitudový skok 20 mV v měřicím zapojení podle obr. 54 je na obr. 59. Při době náběhu menší než 200 ns je doba zákmitu několik mikrosekund (při větším překmitu).

Šum operačních zesilovačů s malým příkonem, B060D až B066D, je poměrně větší než zesilovačů řady B080D. Vyžaduje-li se velké zesílení, popříp. stabilita a přesnost výstupního signálu, mohou být horší šumové vlastnosti zesilovačů na překážku jejich pou-



Obr. 59. Prodloužení doby zákmitu vlivem působení překmitu

žití. V těchto případech bude vhodnější použít zesilovače řady B080D. Pro úplnost informace je třeba ještě uvést, že původní americký výrobce Texas Instruments vyrábí speciální řadu operačních zesilovačů TL070 až TL076D, které mají podobné vlastnosti jako zesilovače obou popsaných řad, jsou s nimi vývodově i použitím plně slučitelné, ale vyznačují se velmi malým šumem. Používají se proto v zapojeních, od nichž se vyžaduje v praxi extrémně malý šum. Tato řada součástek však není vyráběna v NDR.

Přívody kladného a záporného napájecího napětí se musí přímo na integrovaném obvodu nebo co možná nejlíže u něj blokovat kvalitním kondenzátorem (keramickým, popříp. elektrolytickým) s kapacitou 10 až 100 nF.

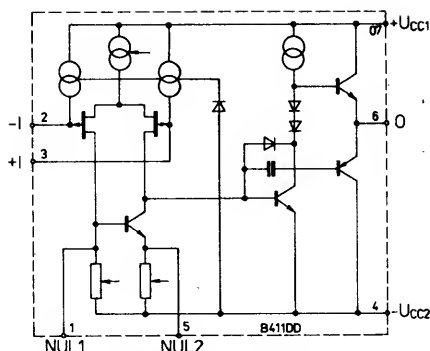
Při návrhu zapojení s operačními zesilovači BIFET se musí vždy počítat se skutečností, že zvýšení teploty o 10 K způsobí dvakrát větší vstupní proudy (jsou to vlastně záporné proudy přechodů p-n).

Poloha vývodů pro nulování vstupní napěťové nesymetrie u integrovaných obvodů B081D a B061D je stejná jako u bipolárních operačních zesilovačů μ A741TC. V mnoha zapojeních s obvodem μ A741TC se může místo něj použít operační zesilovač B081D se vstupními přechodovými tranzistory při respektování vlastností těchto součástek. Přednost změny obvodu spočívá především ve velkém vstupním odporu upraveného zapojení.

Přesný operační zesilovač BIFET, B411DD

Integrovaný obvod B411DD z výroby podniku VEB Halbleiterwerk, Frankfurt/O., NDR, je dalším novým typem operačního zesilovače BIFET, který je vyroben bipolární technologií s přechodovými, polem řízenými tranzistory na vstupu. Tento operační zesilovač se vyznačuje velkým vstupním odporem, malou vstupní kapacitou, malou teplotní závislostí vstupní nesymetrie; vstupní klidový proud a proudová nesymetrie jsou na teplotě velmi málo závislé, zesilovač vyniká velkým rozsahem potlačení soufázového a rozdílového vstupního napětí. Systém zesilovače má úpravu proti zablokování funkce.

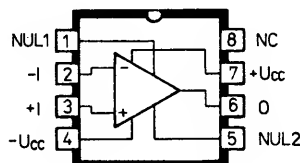
Zjednodušené vnitřní elektrické zapojení integrovaného obvodu B411DD je na obr. 60. Pracovní proud vstupního diferenciálního stupně a vstupní napěťové nesymetrie jsou vyváženy konstrukcí vnitřního zapojení přímo na čipu tak, aby se dosáhlo nepatrné teplotní závislosti a minimálního napětí vstupní nesymetrie. Teplotní závislost vstupního klidového proudu je vnitřně kompenzována v širokém rozsahu. Vstupní nesymetrie se může podle potřeby kompenzovat vnějšími součástkami. Vnitřní kmitočtová kompen-



Obr. 60. Zjednodušené vnitřní elektrické zapojení operačního zesilovače B411DD

zace je zhotovena tak, aby se zesílení operačního zesilovače rovnalo jedné.

Integrovaný obvod B411DD je ve zkráceném plastovém pouzdru DIP-8 s $2 \times$ čtyřmi vývody ve dvou řadách v rastru 2,5 mm. Zapojení vývodů je na obr. 61. Funkce vývodů: 1 – nulování vstupní nesymetrie; 2 – invertující vstup; 3 – neinvertující vstup; 4 – přípoj záporného napájecího napětí $-U_{CC2}$; 5 – nulování vstupní nesymetrie; 6 – výstup; 7 – přípoj kladného napájecího napětí $+U_{CC1}$; 8 – volný vývod.



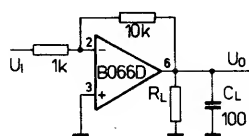
Obr. 61. Zapojení vývodů operačního zesilovače B411DD

Operační zesilovač B411DD je vývodově slučitelný s integrovanými operačními zesilovači BIFET B061D a B081D, od nichž se v elektrických vlastnostech značně odlišuje. Porovnáním elektrických vlastností se operační zesilovač B411DD blíží zesilovači B087D firmy Texas Instruments. Použití zesilovače B411DD je v podstatě podobné jako zesilovačů B061D nebo B081D s tím, že nepotřebuje nulovat vstupní nesymetrii. Elektrické údaje operačního zesilovače B411DD jsou v tab. 9.

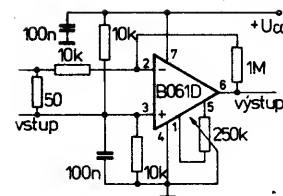
Příklady zapojení operačních zesilovačů BIFET

Jako základní zapojení jednoduchého neinvertujícího zesilovače s operačním zesilovačem řady B060D s jednotkovým zesílením můžeme považovat zapojení pro měření dynamických vlastností podle obr. 54. Operační zesilovače B061D a B081D řady jsou vybaveny vnitřní kmitočtovou kompenzací pro zesílení 1, proto se nemusí zavádět vnější kompenzace. Zesilovače B060D se pro stejné zesílení musí kompenzovat vnějším kondenzátorem 12 pF, zesilovače B080D kondenzátorem 18 pF.

Na obr. 62 je upravené zapojení obvodu B066D jako invertujícího zesilovače se zesí-



Obr. 62. Jednoduchý invertující zesilovač s integrovaným obvodem B066D, který má zesílení 10

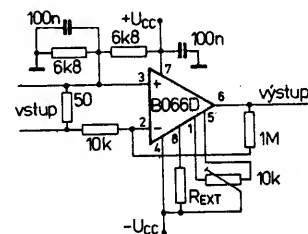


Obr. 63. Zesilovač střídavého signálu s integrovaným obvodem B061D a nesymetrickým napájením

lením 10. Zátěžovací rezistor R_L zvolíme podle požadavků na projektované zapojení a dřívějších vysvětlivek.

Zesilovač střídavého signálu podle obr. 63 s integrovaným obvodem B061D se vyznačuje malým vstupním odporem, možností nulovat vstupní nesymetrii a pouze jediným, kladným napájecím napětím. Stabílní provoz zesilovače vyžaduje blokovat kladné napájecí napětí, stejně jako neinvertující vstup operačního zesilovače kondenzátorem 100 nF. K nulování vstupní nesymetrie doporučuje americký výrobce Texas Instruments použít potenciometr s odporem 250 k Ω , výrobce HFO v NDR s odporem 100 k Ω .

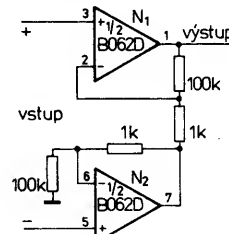
Integrovaný obvod B066D je vhodný rovněž pro přesné, programovatelné zesilovače střídavých signálů v zapojení podle obr. 64,



Obr. 64. Přesný programovatelný zesilovač střídavých signálů s B066D

kteří mají malý odběr proudu a mohou se napájet malým napětím. Vstupní nesymetrie se nuluje potenciometrem 10 k Ω . Řídit nebo programovat vlastnosti zesilovače lze vnějším rezistorem R_{EXT} podle dřívějších doporučení.

Přesný přístrojový zesilovač se dvěma systémy dvojitého operačního zesilovače B062D v zapojení obr. 65 je jedním z nejjednodušších zapojení svého druhu. Funkce zesilovače vyžaduje pouze čtyři vnější rezistory. Vstupní odpor zesilovače je velmi velký.

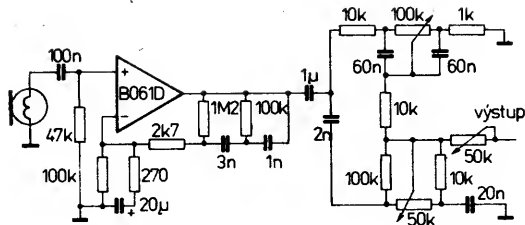


Obr. 65. Přesný přístrojový zesilovač s operačním zesilovačem B062D

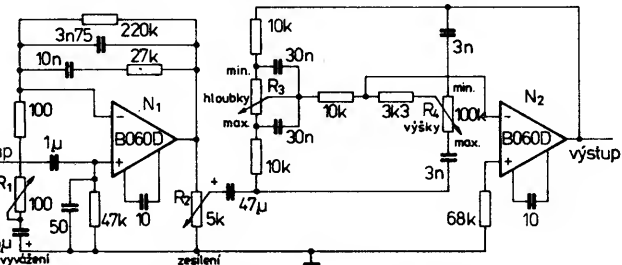
Předností zapojení je široký rozsah potřebného napájecího napětí a minimální odběr proudu v provozu.

Na obr. 66 je návrh zapojení mikrofonního předzesilovače s integrovaným obvodem B061D, jehož předností jsou malé rozměry a malý příkon. Zesilovač je vybaven samostatnými regulátory výšek a hloubek tónu, výstup je vybaven potenciometrem k regulaci úrovně výstupního signálu. Celek je tak

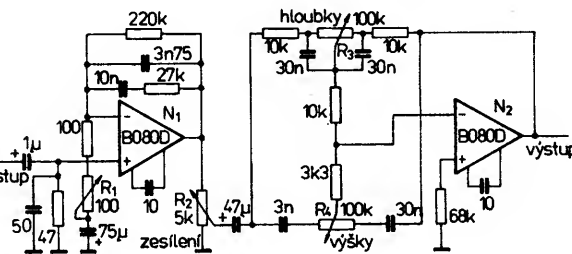
B411DD

B411DD

Obr. 66. Mikrofonní předzesilovač s IO B061D, vybavený hloubek a výšek



Obr. 67. Dvoustupňový nf předzesilovač s dvojitým operačním zesilovačem B062D a samostatnými korekcemi hloubek a výšek



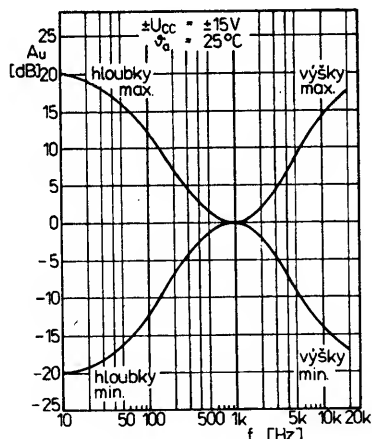
Obr. 69. Dvoustupňový předzesilovač se dvěma obvody B080D s korekčním členem RC pro plynulou regulaci výšek a hloubek

malý, že jej lze vestavět přímo do držáku mikrofonu.

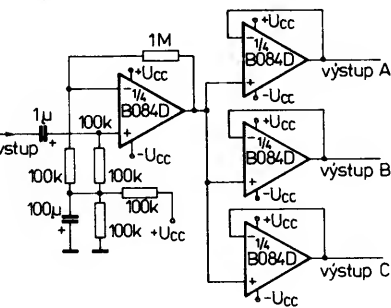
Dvoustupňový nízkofrekvenční předzesilovač se dvěma operačními zesilovači B060D je navržen na obr. 67. Vstup je možné vyvážit potenciometrem R_1 , zesílení regulovat potenciometrem R_2 . Mezi prvním a druhým zesilovacím stupněm je vestavěn účinný, nezávisle pracující regulátor výšek a hloubek tónu. Druhý zesilovací stupeň pracuje jako oddělovací stupeň. Zesilovač se napájí ze symetrického zdroje napětí ± 15 V. Průběh a možnost regulace kmitočtové charakteristiky hloubek a výšek celého předzesilovače je znázorněn na obr. 68. Samostatnými regulátory je možné zdůraznit nebo potlačit hloubky plynule až o 20 dB, výšky asi až o 17 dB. Oba zesilovací stupně jsou kmitočtově kompenzovány kondenzátorem 10 pF, čímž jsou nastaveny na jedničkové zesílení.

Popsaný předzesilovač je možné osadit též operačním zesilovačem B066D bez jakýchkoli změn součástek. V obou stupnicích se však musí odstranit kompenzační kondenzátory 10 pF. Místo nich se již známým způsobem připojí programovací rezistory. Z_{EXT} vždy mezi vývod 8 a záporný napájecí zdroj. Zesílení předzesilovače se pak může programově řídit buď u každého stupně zvlášť, nebo použijí-li se sprážené rezistory, popříp. potenciometry, může se řídit zesílení obou kanálů předzesilovače současně.

Nízkofrekvenční předzesilovač se dvěma integrovanými obvody B080D v zapojení podle obr. 69 je vybaven korekčními filtry pro regulaci hloubek a výšek zesilovaného signálu. Jejich úroveň se řídí potenciometry R_3 a R_4 . Úroveň zpracovávaného nf signálu se nastavuje potenciometrem R_2 . Zesílení prvního zesilovacího stupně lze v malých mezích regulovat potenciometrem R_1 . Druhý



**Obr. 68. Kmitočtová charakteristika nf před-
esilovače s korekčními obvody podle
obr. 67**



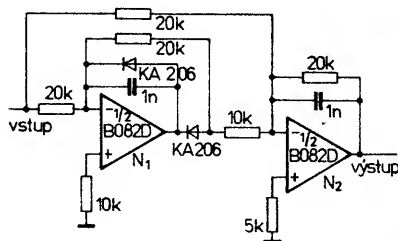
**Obr. 70. Nf předzesilovač s následným „roz-
tělovacím“ stupněm signálu do tří kanálů,
osazený jedním operačním zesilovačem**

operační zesilovač slouží jako oddělovací stupeň. Z jeho výstupu se může budít přímo integrovaný koncový zesilovač výkonu.

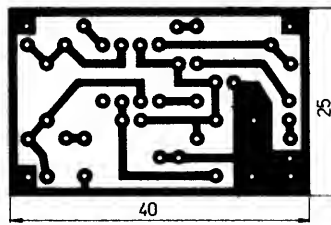
Dobré šumové vlastnosti operačního zesilovače B084D a stejné dobré vzájemné oddělení systémů jsou předpokladem pro konstrukci nízkofrekvenčního předzesilovače s následným rozdělením zesíleného signálu do tří kanálů podle zapojení na obr. 70. Cely předzesilovače a rozdělovací zesilovací stupeň jsou osazeny jediným integrovaným obvodem B084D, který sdružuje na společné podložce čtyři stejné operační zesilovače. Signály z výstupů A, B, C je možné dále vhodnými filtry v každém kanálu samostatně upravovat. Protože vnějších součástek je v popsaném zesilovači minimum, zabírají na desce s plošnými spoji zesilovače minimální plochu. Pokud se popsaný předzesilovač použije v přístrojích napájených z baterií, bude vhodná jej osadit integrovaným obvodem B064D s malou spotřebou napájecího proudu.

Velmi stabilní zesilovač signálu nízkého kmitočtu se zesílením 1, který je sestaven z integrovaného obvodu B082D podle zapojení na obr. 71, je vhodný pro zapojení v přístrojové technice a měřících přístrojích. Stabilita zesílení však závisí na kvalitě použitých pasivních součástek, které mají mít minimální teplotní závislost. Zesilovač se může bez změn součástek osadit rovněž integrovaným obvodem B062D.

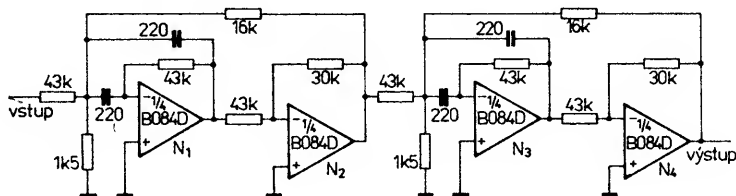
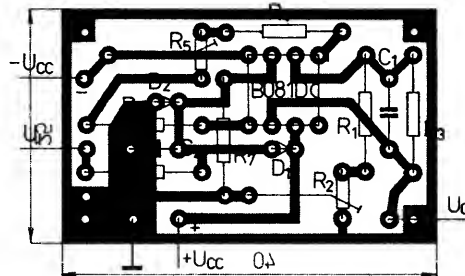
Zapojení na obr. 72 se čtyřmi integrovanými obvody B081D pracuje jako aktivní čtyřstupňová pásmová propust se zavedenou zpětnou vazbou (kmitočet 100 kHz). Filtr má



Obr. 71. Velmi stabilní zesilovač se zesílením 1, osazený dvojitým operačním zesilovačem B062D nebo B062D



Obr. 74. Deska s plošnými spoji předzesilovače z obr. 73; a – plošné spoje, b – deska osazená součástkami



Obr. 72. Aktivní pásmová propust 100 kHz s kladnou zpětnou vazbou s integrovaným obvodem B084D

konstantní zesílení 16 a středně velkou jakost 69. Zapojení je možné osadit místo čtyř obvodů B081D pouze jedním obvodem B084D se čtyřmi systémy nebo dvěma obvody B082D se dvěma systémy. Záměna za integrované obvody B061D, popř. B064D či B062D je rovněž možná bez změn součástek.

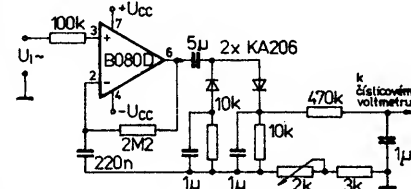
Bez speciálních přídavných zapojení na vstupu převodníku A/D C520D je činnost tohoto obvodu dosti omezená. Z možných pomocných zapojení je účelné použít předzesilovač s velkým vstupním odporem s integrovaným obvodem B081D v zapojení podle obr. 73. Zesílení zesilovače je pevně

± 5 až ± 9 V, odběr napájecího proudu je asi 2 mA. Protože popsaný zesilovač má další všestranné použití, je na obr. 74a vyobrazena deska s plošnými spoji, která usnadní zhotovení předzesilovače. Z obr. 74b je patrné osazení desky s plošnými spoji příslušnými součástkami.

Jiné malé přídavné zapojení k analogové číslicovému převodníku C520D slouží k rozšíření převodníku pro funkci jednoduchého číslicového voltmetru se střední přesností. Pokud k tomuto účelu nepostačuje vstupní napěťový rozsah 1 V, může se před převodník předřadit předzesilovač se vstupem s velkým odporem. Poslouží k tomu operační zesilovač B061Dm v zapojení podle obr. 75. Vstupní odpor na všech napěťových rozsazích je 10 M Ω , největší přípustné vstupní stejnosměrné napětí je 7 V. Spínačem S_1 se přepíná měření stejnosměrného napětí a proudu, spínač S_2 zapíná při střídavém měření do vstupního obvodu kondenzá-

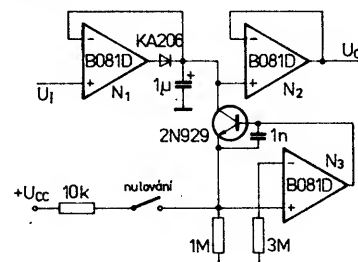
tegrovaný obvod B061Dm, který má velmi malý odběr napájecího proudu.

K měření střídavého napětí se musí číslicový voltmetr s převodníkem C520D opatřit vhodným usměrňovačem, který bude pracovat v celém rozsahu nízkých kmitočtů. Vhodné zapojení na obr. 76 používá operační zesilovač B080D, ten zesílí vstupní signál asi 20krát, pak je mezivrcholová velikost napětí upravena na efektivní hodnotu a přizpůsobena ke vstupu číslicového voltmetru. Vrstvovým potenciometrem 2 k Ω se porovnáním s přesným střídavým měřicím přístrojem nastaví naměřený údaj při středním nízkofrekvenčním kmitočtu.



Obr. 76. Usměrňovač střídavého napětí s integrovaným obvodem B080D pro rozšíření měření střídavého napětí v nízkém rozsahu ve spojení s číslicovým voltmetrem s převodníkem A/D typu C520D

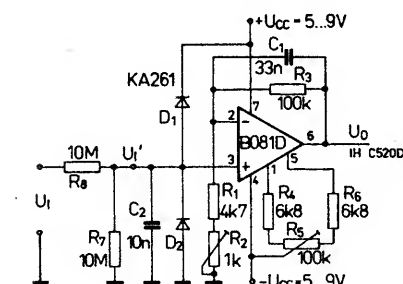
Vrcholový detektor se třemi integrovanými obvody B081D v zapojení na obr. 77 se vyznačuje velkou vstupní impedancí, malou výstupní impedancí a nepatrnou teplotní závislostí. Zapojení je velmi jednoduché a nepotřebuje bližší vysvětlení. Použitý tranzistor n-p-n typu 2N929 se může nahradit tranzistorem KC509. K vynulování funkce detektoru slouží spínač S , kterým se přivede na neinverující vstup třetího operačního zesilovače přes rezistor 10 k Ω kladné napájecí napětí.



Obr. 77. Zapojení vrcholového detektoru se třemi B081D

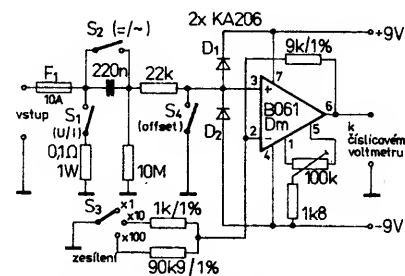
Velmi zajímavé je jednoduché zapojení oscilátoru s integrovaným obvodem B081D na obr. 78, na jehož výstupu lze odebrat signál pravouhlého průběhu s kmitočtem 0,5 Hz. Kmitočet oscilátoru je možné měnit změnou odporu rezistoru R_F a kapacity kondenzátoru C_F . Výsledný kmitočet je dán vztahem

$$f = \frac{1}{2\pi R_F C_F}$$



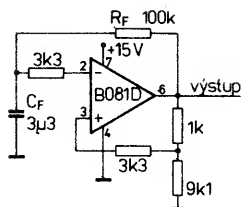
Obr. 73. Předzesilovač s velkým vstupním odporem se zesílením 10, osazený operačním zesilovačem B081D, vhodný pro měřicí účely

nastaveno na 10. Znamená to, že nejmenší jmenovitý napěťový rozsah je 100 mV, nebo lépe řečeno rozsah zobrazení multimetru s převodníkem C520D bude od -9,9 do +99,9 mV. Bipolární operační zesilovač BIFET se vstupním odporem okolo 10 M Ω může vytvořit vhodný kompromis. Jeho vstup se navíc může chránit proti přetížení jednoduše ochranným rezistorem s velkým odporem (10 M Ω). Diody D_1 a D_2 (např. KA261), vybrané na co nejmenší závěrný proud, slouží k dalšímu podstatnému zlepšení funkce zesilovače. Kondenzátor na vstupu zachycuje v čistě stejnosměrném provozu krátké rušivé napěťové impulsy. Zesilovač se napájí symetrickým napětím



Obr. 75. Předřadný zesilovač s operačním zesilovačem B061Dm pro rozšíření měřicích rozsahů číslicového voltmetru s převodníkem A/D typu C520D

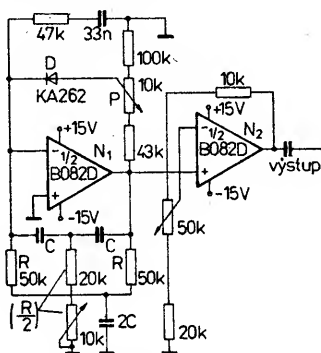
tor 220 nF. Přepínačem S_3 se pomocí zpětné vazby v operačním zesilovači nastavuje zesílení ve stupních $\times 1$, $\times 10$ nebo $\times 100$. Jestliže je spínač S_4 sepnut, může se potenciometrem 100 k Ω nastavit žádaná vstupní symetrie. Obě křemikové diody (např. TESLA KA206 nebo podobné) slouží k ochraně integrovaného obvodu proti přepětí. Při měření proudu se na nastaveném napěťovém rozsahu dělí výsledek deseti tím, že se spínač S_3 nastaví na zesílení $\times 10$. Největší měřený proud nesmí být větší než 10 A. Při větším proudu chrání vstupní obvod popsaného přídavného zesilovače tavná pojistka. Výhodnost zesilovače znásobuje použitý in-



Obr. 78. Zapojení oscilátoru s výstupním pravoúhlým signálem o kmitočtu 0,5 Hz s operačním zesilovačem B081D

Oscilátor se napájí nesouměrným napětím +15 V. Přesnost kmitočtu výstupního signálu je dána především velkou přesností a teplotní stálostí použitých pasivních součástek. Popsaný generátor signálu pravoúhlého průběhu je vhodný pro náročná řídicí a krokovací zapojení v průmyslové elektronice.

Na obr. 79 je zapojení sinusového generátoru s integrovaným obvodem B082D s dvojitým členem RC tvaru T. Bude-li odpor rezistoru R/2 přesně 25 kΩ a kapacita kondenzátoru C asi 16 nF, bude fázový rozdíl ve dvojitým T členu RC přesně 180°. Přivede-li

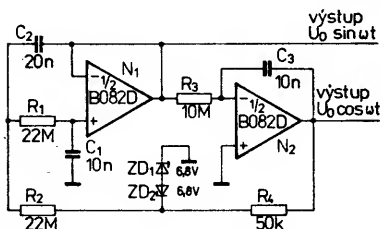


Obr. 79. Generátor sinusového signálu s dvojitým členem RC tvaru T s operačním zesilovačem B082D

se na invertující vstup operačního zesilovače N₁, bude celkový rozdíl fáze 360° a tím bude v kmitočtové selektivním obvodu nulový útlum. Malé zvětšení odporu R = R/2 rozkmitá zapojení v případě, bude-li kmitočet f uvnitř přenášené šířky pásma operačního zesilovače. Průtokem proudů diodou D₁ se udržuje nelineární zpětnou vazbou konstantní amplituda, jejíž velikost se může nastavit potenciometrem P s lineárním průběhem a odporem 10 kΩ. Protože výstupní odpor generátoru v rezonanci je velký, je k výstupu generátoru připojen druhý systém obvodu B082D, který slouží jako oddělovací zesilovač (N₂). Kmitočet popsaného sinusového generátoru je dán vztahem

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

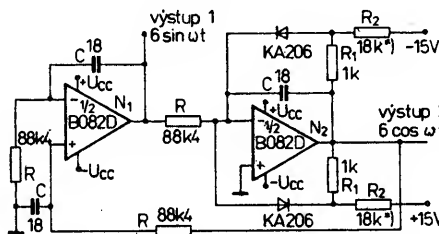
V regulační technice se často vyžadují kvadraturní generátory, tedy generátory, které současně vyrábějí sinusový a kosinový výstupní signál. Zapojení na obr. 80 představuje dvojitý operační zesilovač B082D zapo-



Obr. 80. Kvadraturní generátor ní signálu s dvojitým operačním zesilovačem typu B082D

jen jako jednoduchý kvadraturní generátor signálu. Operační zesilovač N₁ pracuje jako aktivní dolní propust, N₂ jako integrátor. Kmitočet vznikajícího signálu a budící úroveň jsou dány odporem rezistorů R₁, R₂, R₃ a kapacitami kondenzátorů C₁, C₂, C₃. Uvedené rezistory a kondenzátory musí mít co nejmenší toleranci (nejlépe 1 %) a velkou teplotní stálost. Odpor rezistoru R₄ musí být menší ve srovnání s odporem rezistoru R₂, neboť jen tak budou účinně pracovat omezovací Zenerovy diody ZD₁, ZD₂ se Zenerovým napětím 6,8 V (např. KZ241/6V8 TESLA), které slouží ke stabilizaci výstupního napětí. Pokud se použijí všechny součástky podle uvedeného zapojení, bude generátor dodávat signál s kmitočtem 1 Hz. Zkreslení sinusového výstupního napětí je jen 1 %, kosinového napětí 0,3 %. Vhodnou úpravou součástek R₁, C₂ je možné upravit zapojení generátoru tak, aby dodával signál s kmitočtem až do 10 kHz.

Na obr. 81 je návrh dalšího provedení kvadraturního generátoru, jehož výstupní signál má kmitočet 100 kHz. Je osazen dvojitým operačním zesilovačem B082D. Jeden systém (N₁) pracuje jako horní propust, druhý systém (N₂) jako integrátor v podobném zapojení, jaké se používá u integrátorů v bipolárním provedení. Oscilátor se napájí dvěma symetrickými napětíovými zdroji. Operační zesilovače se napájí napětím ±15 V,



Obr. 81. Kvadraturní generátor signálu o kmitočtu 100 kHz s dvojitým operačním zesilovačem B082D

vnější obvody integrátoru napětím -15 V a +15 V. Rezistory 18 kΩ, zařazené do přívodů záporného a kladného napájecího napětí, mají uveden jen orientační odpor. Jejich přesný odpor se musí zvolit tak, aby výstupní napětí generátoru bylo symetrické. Z výstupu horní propusti můžeme odebrat sinusový signál (6 sin ω t) z výstupu integrátoru kosinový signál (6 cos ω t). I toto zapojení oscilátoru se doporučuje osadit přesnými rezistory a kondenzátory s maximální tolerancí 5 %. V zapojení se mohou použít rovněž integrované obvody B062D.

V mnoha domácnostech jsou ještě v provozu hodiny nebo rozhlasové přijímače s hodinami, které používají jako základní hodinový kmitočet kmitočet elektrické síle 50 Hz. Jak dobře víme, síťový kmitočet silně kolísá, což má vliv na přesnost chodu hodin. Chyba chodu může být až 15 min za den. Řešit lze tento problém stabilním generátorem RC s kmitočtem 50 Hz – to sice přesnost chodu

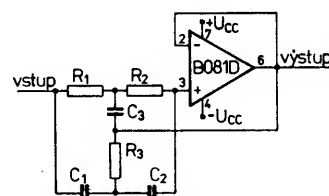
hodin zlepši na ±2 minuty za den, ale i to není uspokojivé řešení.

Mnohem lepší řešení je použít hodinový generátor s krystalem 4,19 MHz, který pracuje s hodinovým obvodem RFT U114 v zapojení podle obr. 82. Operační zesilovač B081D na výstupu generátoru tvoří s členy C₅, R₅ a vazebními členy R₃, R₄ a R₆ generátor pravoúhlého signálu 50 Hz, jehož kmitočtová stabilita je asi 10⁻³. Kondenzátor C₅ se trvale střídavě nabíjí a vybíjí kladným a záporným napětím, než se napětíovým děličem na neinvertujícím vstupu dosáhne prahového napětí. Vyrobený kmitočet generátoru je stabilní, neboť výstupní napětí z operačního zesilovače tvoří nabíjecí napětí kondenzátoru C₅ a od něj je odvozeno prahové napětí.

Integrované napětí U114 se běžně používá v hodinách s krokovým motorkem. Jeho výstupy střídají svou logickou úroveň v časovém sledu 1 s. Při každé změně úrovně bude přes diferenční člen C₃, R₁ a C₄, R₂ vždy jeden tranzistor p-n-p a n-p-n krátkodobě vodivý. Výsledkem je nezávisle na okamžité polaritě náboje na kondenzátoru C₅ jeho vybití. Tím se synchronizuje chod generátoru. Při každém padesátém kmitu se generátor tzv. nuluje. Protože synchronizace pracuje jen uvnitř odchylky jedné čtvrtiny periody, musí být generátor stabilnější než 20 ms/4, vztaženo na 1 s, což odpovídá přesnosti 0,5 %.

Kmitočet generátoru a synchronizace musí být vůči sobě v poměru celých čísel. Generátor se může proto nastavit i na kmitočet 51 Hz a synchronizovat. Protože však požadavky na stabilitu generátoru RC s kolísáním kmitočtu generátoru se zvětšují stejnou měrou, je tento poměr směrem nahoru prakticky omezen. Generátor se může vyvažovat po přerušení spojení mezi tranzistorem a kondenzátorem C₅ nebo po zkratování vývodů báze a emitoru. Kmitočet generátoru se pak může pomocí potenciometru R₆ nastavit přesně na 50 Hz.

Další zapojení s operačním zesilovačem B081D na obr. 83 představuje návrh úzko-

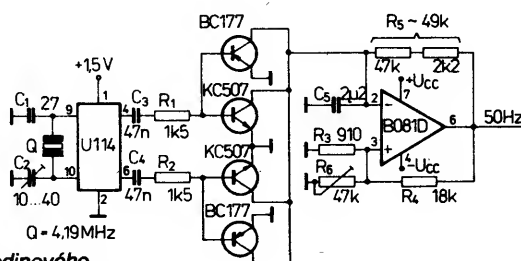


Obr. 83. Operační zesilovač B081D v zapojení úzkopásmového značkovacího filtru s kmitočtem 1 kHz a velkou jakostí Q

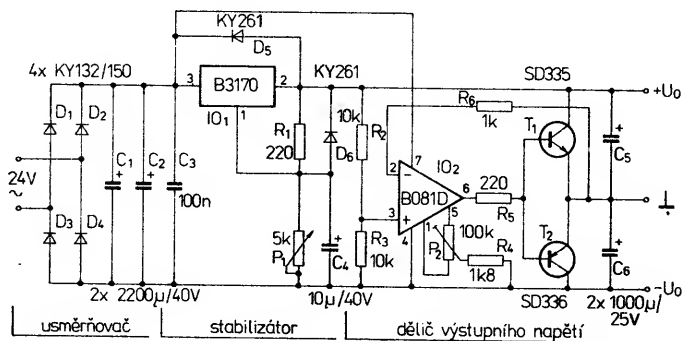
pásmového značkovacího filtru s velkou jakostí Q, který pracuje s kmitočtem 1 kHz, pokud se použijí dále předepsané součástky:

$$R_1 = R_2 = 2R_3 = 1,5 \text{ M}\Omega,$$

$$C_1 = C_2 = \frac{C_3}{2} = 110 \text{ pF}.$$



Obr. 82. Přesný generátor hodinového signálu o kmitočtu 50 Hz s integrovaným obvodem U114 a operačním zesilovačem B081D



Obr. 84. Regulovatelný napájecí zdroj se symetrickým stabilizovaným napětím ± 1 V až ± 12 V

Výsledný kmitočet filtru je dán vztahem

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 1 \text{ kHz.}$$

Vhodnou změnou odporů rezistorů a kapacit kondenzátorů se může kmitočet filtru měnit.

Další oblastí nasazení operačních zesilovačů BIFET jsou napájecí zdroje. Se dvěma integrovanými obvody a několika málo dalšími součástkami pracuje jednoduchý zdroj regulovatelného stejnosměrného symetrického napětí od ± 1 do ± 12 V nebo unipolárního napětí $+1,25$ do $+24$ V. Zapojení zdroje je na obr. 84. Použitý způsob získávání středního nulového napětí má přednost v tom, že poměr obou dílčích výstupních napětí zůstává stále stejný a to i při nestejném zatížení dílčích napětí.

Střídavé vstupní napětí 24 V se usměrňuje čtyřmi křemíkovými usměrňovači KY132/150 v Graetzově můstku, k jehož výstupu jsou připojeny vyhlazovací kondenzátory C_1 , C_2 . Kapacita těchto kondenzátorů musí být dostatečně velká, čímž se dosáhne maximálního bruchivého napětí. Usměrněné napětí je stabilizováno integrovaným obvodem B3170, jehož výstupní napětí je možné plynule regulovat potenciometrem P_1 .

Pro symetrickou regulační část bylo zvoleno zapojení, u něhož se získává střední napětí pomocí operačního zesilovače B081D. Napájecí napětí operačního zesilovače se odebírá před regulačním stabilizátorem napětí. Tím se zaručí konstantní napájecí napětí obvodu B081D, které se nesmí zmenšit pod ± 5 V; jeho maximální napájecí napětí je ± 18 V vůči zemnímu potenciálu, což znamená celkové napětí max. 36 V.

Protože se vyhlazovací kondenzátory za usměrňovačem nabíjejí bez zátěže na vrcholovou hodnotu sinusového napětí, platí vztah

$$U_M = U_{ef}/\sqrt{2} = 24 \text{ V} \cdot 1,4 \approx 34 \text{ V.}$$

Operační zesilovač B081D pracuje v popsaném zapojení jako napěťový sledovač. Rezistorový dělič napětí vyrábí vstupní napětí pro operační zesilovač. Symetrie výstupního napětí závisí na napěťovém děliči, který tvoří rezistory R_2 a R_3 , proto oba rezistory musí mít odpor 10 kΩ s přesností ± 1 %. Menší odchylku výstupních napětí je možné vyvážit regulátorem P_2 pro vynulování vstupní nesymetrie.

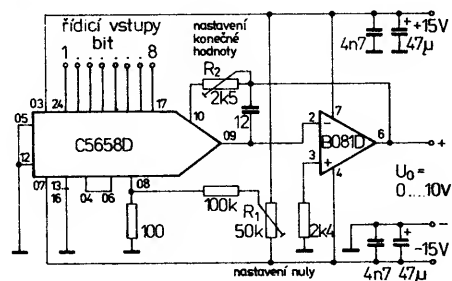
Výstupní signál operačního zesilovače řídí přes ochranný rezistor R_5 dvojčinný komplementární zesilovač s výkonovými tranzistory p-n-p a n-p-n, pracující ve třídě B. Na kolektorech obou tranzistorů se odebírá kladné a záporné napětí, vztažené vůči střednímu výstupnímu napětí. Výstup komplementárního zesilovače tvoří zemní potenciál (plovoucí zem) pro obě symetrické

napětí. Z důvodu zavedení zpětné vazby je výstup spojen rezistorem R_6 s invertujícím vstupem operačního zesilovače. Tím vzniká regulační obvod, který dostatečně reguluje vliv zatížení výstupních napětí.

Oba výkonové tranzistory přejímají rozdíl napájecích proudů. Vhodným typem tranzistorů je dvojice výkonových tranzistorů SD135 a SD136 z výroby RFT v NDR nebo polská dvojice tranzistorů BD135 a BD136. Obě řady tranzistorů jsou v plastovém pouzdru. Tranzistory nemusí být párovány ani jinak vybírány, protože regulační obvod vyrovnává jejich nelinearitu. Oba tranzistory i integrovaný stabilizátor B3170 se musí dostatečně chladit vhodnými chladiči. Výkonové tranzistory TESLA KD135 a KD136, které jsou v kovovém pouzdru, se mohou rovněž v usměrňovači použít, avšak jejich montáž není možná přímo do desky s plošnými spoji.

Vnitřní ochrana proti přetížení v obvodu B3170 působí jako ochrana celého zdroje. Potenciometr P_1 , který slouží k regulaci výstupního napětí, se vyvede na čelní desku zdroje. Knoflík na hřídeli potenciometru se může opatřit stupnicí s výstupními napětími, popřípadě lze kladné i záporné výstupní napětí průběžně měřit voltmetrem na čelní desce.

Praktické zapojení popsaného napájecího zdroje usnadní deska s plošnými spoji na obr. 85a. Rozložení součástek na desce s plošnými spoji je na obr. 85b.

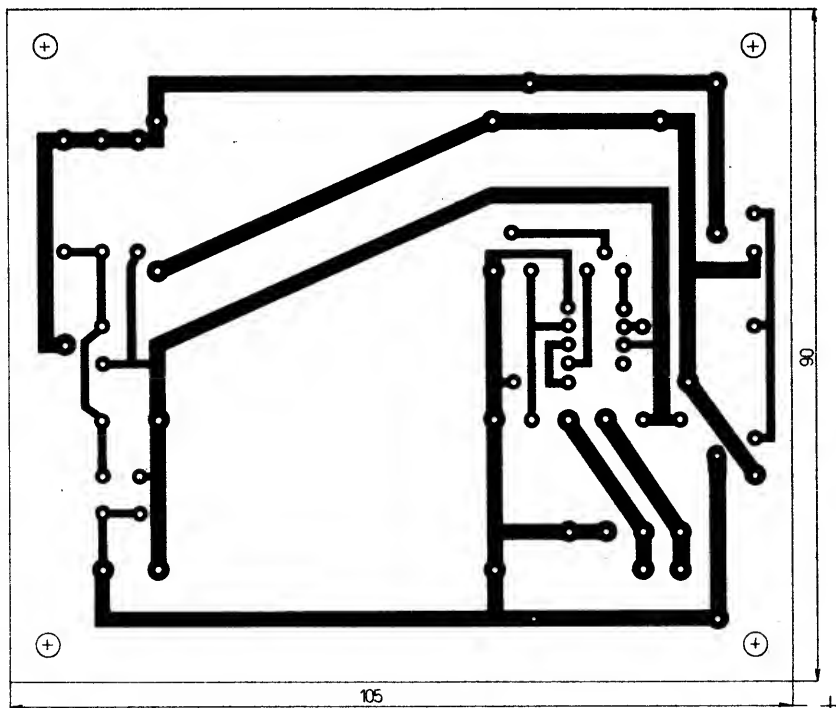


Obr. 86. Operační zesilovač B081D jako napěťový zdroj s řízeným napětím (0 až 10 V). Zdroj je řízen převodníkem D/A typu C5658D s vnitřním zdrojem referenčního napětí

V měřicí technice bývá zapotřebí zdroj stejnosměrného napětí, jehož velikost je možné nastavovat číslicovými instrukcemi z mikropočítače. V těchto případech postačí osmibitový číslicově-analogový převodník, např. obvod C5658D z výroby podniku VEB Halbleiterwerk, Frankfurt/Oder, který může vyrobit v závislosti na kódovaných instrukcích osmi paralelních vstupních bitech výstupní napětí od 0 do 10 V ve 256 stupních.

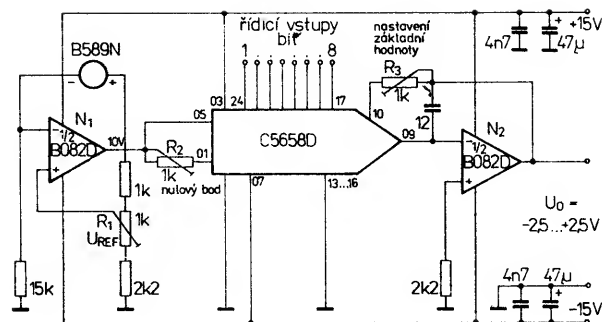
Zapojení na obr. 86 představuje číslicově-analogový převodník s vnitřním referenčním napětím, k jehož výstupu je připojen operační zesilovač B081D. Výstupní napětí operačního zesilovače je řízeno převodníkem v rozmezí od 0 do 10 V. Potenciometr R_1 slouží k nastavení nuly, R_2 k nastavení konečné velikosti výstupního napětí. Vzhledem k použití součástek je rozsah provozní teploty omezen od $+25$ do $+50$ °C. Jestliže se použije vnější zdroj referenčního napětí jako vztahný bod (např. integrovaný referenční zdroj band gap B589 z výroby RFT), určuje teplotní součinitel této součástky stabilitu celého zapojení.

Za použití stejného převodníku D/A, C5658D, referenčního zdroje B589D a dvojitého operačního zesilovače B082D je možné v zapojení podle obr. 87 sestavit číslicově řízený bipolární zdroj napětí $-2,5$ až 0 V až $+2,5$ V. Použitím dvojitého zesilovače se celé zapojení rozměrově zmenší a celkové náklady zůstávají nízké. Integrovaný obvod



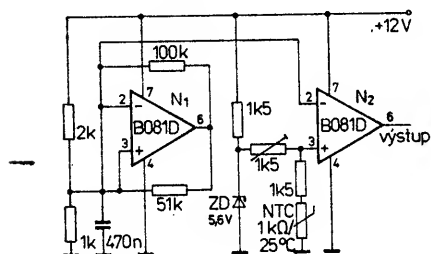
Obr. 85. Deska s plošnými spoji regulovatelného napájecího zdroje podle obr. 84; a – náčrtek plošných spojů, b – rozložení součástek na desce s plošnými spoji

Obr. 87. Operační zesilovač B082D, použitý ve zdroji řízeného symetrického napětí $-2,5 \dots 0 \dots +2,5$ V, řízený převodníkem D/A s vnějším zdrojem referenčního napětí



C5658D sdružuje na společném čipu převodník D/A, spínač proudových zdrojů, odporovou síť R/2R a zdroj referenčního napětí. Chyba linearity převodníku je 0,5 LSB. Obvod je v pouzdru DIL-24 s 2× dvanácti vývody. Potenciometrem R_1 se nastavuje referenční napětí na vstupu operačního zesilovače N_1 tak, aby na jeho výstupu bylo přesné napětí 10 V. Potenciometr R_2 slouží k nastavení nuly, R_3 k nastavení základního napětí.

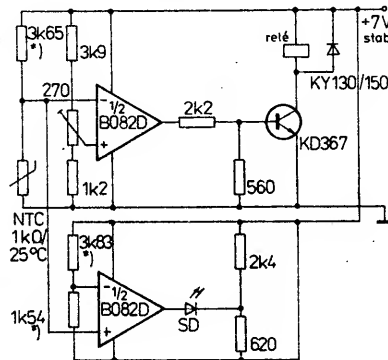
Zajímavé zapojení impulsního modulatoru se dvěma operačními zesilovači, B081D, který je vhodný k měření proudů v průmyslové elektronice, je na obr. 88. Operační zesilovač N_1 pracuje jako generátor impulsů, N_2 jako impulsní vysílač snímající teplotu proudícího média. K měření teploty kontrolovaného média slouží teplotě závislý rezistor (termistor) s odporem 1 k Ω při teplotě 25 $^{\circ}\text{C}$.



Obr. 88. Zapojení impulsního modulátoru pro měřiče proudění

Celé zapojení je jednoduché, spolehlivě pracuje s jedním kladným napětím 12 V.

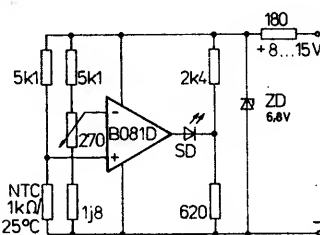
Ochranné zapojení elektrického motoru s indikací překročení teploty svítivou diodou, které používá dvojitého operačního zesilovače B082D, je navrženo na obr. 89. V invertujícím vstupu zesilovače N_1 je připojen napěťový závislý rezistor (termistor) s odporem 1 k Ω při teplotě 25 °C, který slouží jako teplotní čidlo. Napětí z výstupu N_1 přímo budí tranzistor n-p-n v Darlingtonové zapojení (např. KD367), který má mít co největší proudový zesilovací činitel. V jeho kolektorovém vývodu je zapojeno relé. Spínací kon-



Obr. 89. Ochranné zapojení elektromotoru před nadměrným oteplením, osazené dvojitým operačním zesilovačem B082D

takty relé odpojí v případě překročení teploty elektromotor, popříp. jiný přístroj nebo kontrolovaný stroj. Tepelné čidlo je umístěno ve vinutí elektromotoru. Světelná indikace teploty pracuje při teplotě přibližně 82 °C, teplota pro odpojení kontrolovaného motoru je asi 94 °C. Přesnost zapojení je dána přesností odporu rezistorů označených hvězdičkou *, jejichž odpor se musí dodržet s přesností 1 %. Spolehlivý stabilní provoz ochranného zapojení vyžaduje napájet je dobře stabilizovaným napětím +7 V.

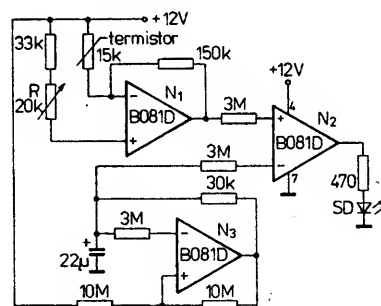
Operační zesilovače řady B081D jsou vhodné pro různá kontrolní zapojení v průmyslové elektronice, pokud se dodrží přípustný rozsah jejich provozní teploty. Zapojení na obr. 90 uvádí příklad indikátoru překročení teploty v rozsahu od +90 do



Obr. 90. Indikátor překročení teploty v rozsahu +95 až 130 °C s operačním zesilovačem B081D

+130 °C. Jako teplotní čidlo slouží napětově závislý rezistor (termistor) s odporem 1 kΩ při teplotě 25 °C. Překročení teploty indikuje svítivá dioda SD libovolného typu. Použitá Zenerova dioda s napětím 6,8 V postará se ztrátovým výkonem do 400 mW (např. TESLA KZ241/6V8). Popsané zapojení pracuje s kladným napájecím napětím v rozmezí od 8 do 15 V.

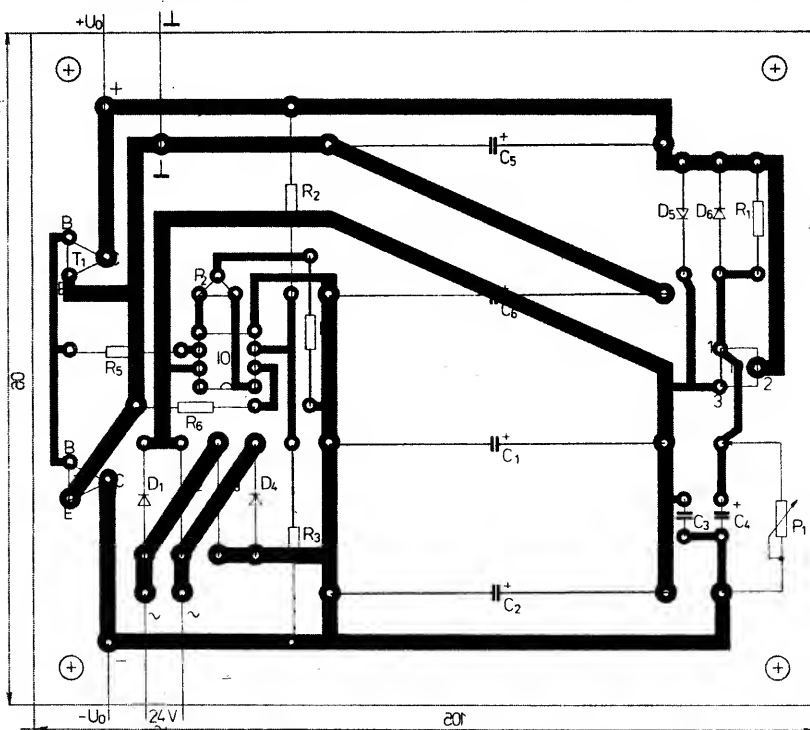
Další indikátor nastavené teploty pracuje v zapojení podle obr. 91 se třemi integrovanými obvody B081D. Jako teplotní čidlo slouží termistor s odporem 15 k Ω , který je zapojen mezi kladným napájecím napětím +12 V a invertujícím vstupem operačního zesilovače N₁. K výstupu zesilovače N₂ je

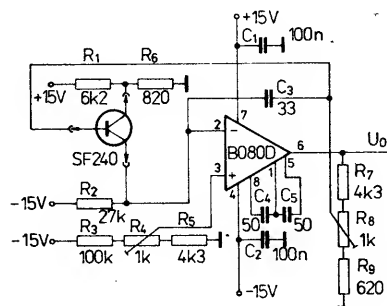


Obr. 91. Světelný indikátor nastaveného bodu teploty se třemi operačními zesilovači B081D

přes omezovací rezistor $470\ \Omega$ připojena indikační svítivá dioda SD libovolného typu. Svit této diody se nastavuje potenciometrem R v přívodu neinvertujícího vstupu zesilovače N_1 a to při teplotě 0°C , čímž se zajistí přesné rozsvícení diody při dané teplotě. Indikátor pracuje s jedním kladným napájecím napětím $+12\text{ V}$.

Zapojení jednoduchého převodníku teploty na napětí, které pracuje s operačním zesilovačem B080D (zapojení obr. 92) se vyznačuje velkou stálostí nulového bodu.





Obr. 92. Převodník teploty na napětí s IO typu B080D využívá tranzistoru SF240 jako teplotního čidla

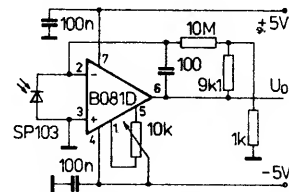
Jako teplotní čidlo slouží křemíkový tranzistor SF240, napájený napětím kolektor-emitor asi 2 V. Jeho proud kolektoru je asi 450 μ A. Teplotní součinitel tranzistoru je $-1,2$ mV/K. Napětí, sejmuté z teplotního čidla, zesiluje operační zesilovač B080D, vybraný pro tuto funkci pro svou velmi malou teplotní závislost. Rezistory R_7 až R_9 je nastaveno zesílení operačního zesilovače na 4 až 7, takže se výstupní napětí U_O mění s napětím asi o -10 mV/K. Rezistorem R_4 je na neinverujícímu vstupu operačního zesilovače nastaven potenciál, který odpovídá napětí U_{BE} tranzistoru teplotě přechodu 0°C . K inverujícímu vstupu je připojen emitor tranzistoru (čidla).

Teplotní součinitel popsaného zapojení určuje teplotní závislost vstupní napěťové nesymetrie obvodu B080D (typicky $16 \mu\text{V/K}$). Pro výstupní napětí U_O je asi $100 \mu\text{V/K}$, což odpovídá chybě $\pm 0,1$ K při odchylce 10 K od vztahné teploty. Tato velmi malá odchylka představuje jedinou chybu související s nulovým bodem.

Výstupní napětí U_O se může dále zpracovávat vhodným způsobem analogově, popř. použijí-li se dva stejné popsané převodníky též číslicově ve spojení s převodníkem A/D (např. typu C520D).

Popsaný převodník teploty na napětí je možné realizovat na desce s plošnými spoji, jejíž výkres je na obr. 93a. Na obr. 93b je rozložení součástek na desce s plošnými spoji. K ochraně před vř. rozkmitáním se doporučuje navléknout na přívody báze a emitoru tranzistoru feritové perličky, popř. připájet odrušovací tlumivky VKV. Při zkouškách vzorku se na 10 m dlouhém vedení nevyskytly žádné oscilace, proto deska se součástkami tyto ochranné prvky neobsahuje.

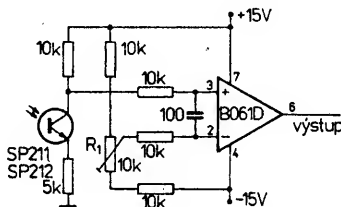
Spolehlivá funkce křemíkových fotodiód umožňuje konstruovat přístroje pro měření intenzity osvětlení a světelné závory, které při nízkých nákladech mají velkou citlivost a dobrou dlouhodobou stabilitu, potřebnou pro přístroje průmyslové elektroniky. Příkladem měřiče intenzity osvětlení s křemíkovou fotodiódou SP103 z výroby RFT (NDR) na



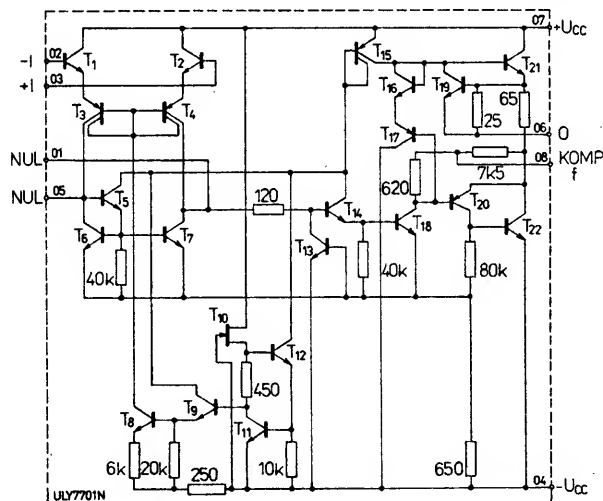
Obr. 94. Měřič intenzity osvětlení s fotodiódou SP103 na vstupu operačního zesilovače B081D

vstupu operačního zesilovače B081D může být zapojení na obr. 94. Protože nejcitlivější je fotodióda SP103 při provozu naprázdno (bez zátěže), má operační zesilovač uvedenu zpětnou vazbu rezistorem připojeným z výstupu na inverující vstup s odporem 10 M Ω . Zesílení operačního zesilovače je nastaveno odbočkou zpětné vazby na rezistorovém děliči napětí na výstupu ($9,1$ k Ω a 1 k Ω). Změnou odporu rezistoru $9,1$ k Ω se může měnit zesílení. Potenciometrem 10 k Ω se nastavuje nulový bod. Popsané zapojení má velkou citlivost na „stejnoseměrné“ světlo, není však vhodné pro měření velkých rychlostí rotujícího světla.

Další zapojení operačního zesilovače B061D, k jehož vstupu je podle obr. 95



Obr. 95. Předzesilovač s fotodetektorem, osazený operačním zesilovačem B061D



Obr. 96. Vnitřní elektrické zapojení operačního zesilovače ULY7701N

připojen fototranzistor SP211 nebo SP212 (výrobce RFT), pracuje jako světelný detektor s malým příkonem. Citlivost předzesilovače se nastavuje potenciometrem R_1 . Zesilovač se napájí symetrickým napětím ± 15 V. Protože světelný detektor je rozměrově velmi malý, může se vkládat do snímáček hlavice malých rozměrů, používaných k čítání výrobků při pásové výrobě či jinému snímání světelných signálů v průmyslových elektronických zařízeních.

Bipolární operační zesilovače

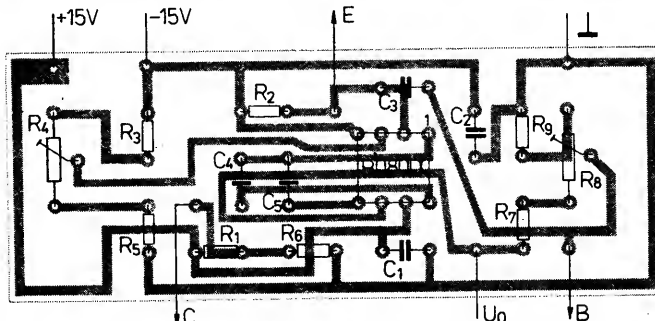
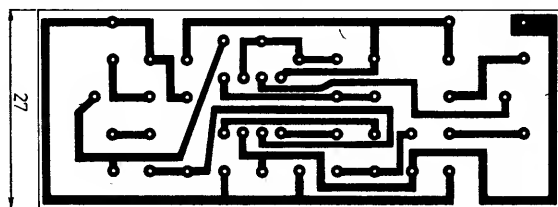
Operační zesilovač ULY7701N

Polský výrobce Unitra-CEMI vyrábí operační zesilovač ULY7701N, který je určen pro nejručnější analogová zapojení. Zesilovač není vybaven vnitřní kmitočtovou kompenzací, proto se musí kompenzovat vnějším kondenzátorem 30 pF připojeným mezi vývody 1 a 8. Napájení zesilovače je symetrické napětím v rozsahu od ± 5 do ± 15 V. Předností zesilovače je malý provozní napájecí proud typicky $1,8$ mA, maximálně 3 mA, který není v podstatě závislý na velikosti použitého napájecího napětí. Vstup a výstup zesilovače je zabezpečen proti přetížení, proto je součástka provozně velmi spolehlivá. Výstupní napětí se může vnějšími součástkami nastavit na žádanou konstantní velikost, takže zesilovač může být slučitelný s logickými obvody.

Základní použití zesilovače je v aktivních filtrech, funkčních generátorech s nízkými kmitočty, mř. zesilovačích apod.

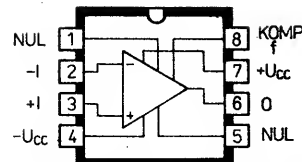
Vnitřní elektrické zapojení operačního zesilovače ULY7701N je na obr. 96. Je v plastovém pouzdru DIL-8 s $2 \times$ čtyřmi vývody, zapojení vývodů je na obr. 97. Rozsah dovo-

Obr. 93. Návrh desky s plošnými spoji pro převodník teploty na napětí podle obr. 92; a – návrh plošných spojů, b – osazená deska

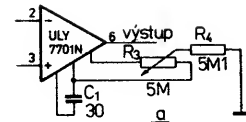


Tab. 10. Elektrické údaje operačního zesilovače ULY7701N

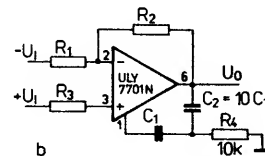
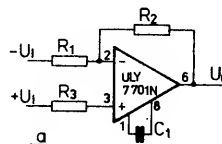
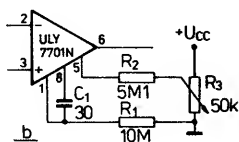
Mezní údaje ($\theta_a = +25^\circ\text{C}$)	
Napájecí napětí symetrické	$\pm U_{CC} \leq \pm 18\text{ V}$.
Vstupní napětí	$U_{IM} = -15 \text{ až } +15\text{ V}$.
Vstupní napětí diferenční	$U_{ID} = -30 \text{ až } +30\text{ V}$.
Ztrátový výkon celkový	$P_{tot} \geq 500\text{ mW}$.
Rozsah pracovních teplot okolí	$\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$.
Rozsah skladovacích teplot	$\theta_{stg} = -55 \text{ až } +125^\circ\text{C}$.
Charakteristické údaje	
Platí při $\theta_a = 25^\circ\text{C}$, $\pm U_{CC} = \pm 5 \text{ až } \pm 15\text{ V}$, $C_{1/8} = 30\text{ pF}$, není-li uvedeno jinak	
Vstupní napěťová nesymetrie $U_O = 0\text{ V}$, $R_S = 50\text{ k}\Omega$, $\theta_a = 25^\circ\text{C}$ $U_O = 0\text{ V}$, $R_S = 50\text{ k}\Omega$, $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$	$U_{IO} = \text{jmen. } 2; \leq 7,5\text{ mV}$, $U_{IO} \leq 10\text{ mV}$.
Vstupní proudová nesymetrie $U_O = 0\text{ V}$, $\theta_a = 25^\circ\text{C}$ $U_O = 0\text{ V}$, $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$	$I_{IO} = \text{jmen. } 3; \leq 50\text{ nA}$, $I_{IO} \leq 70\text{ nA}$.
Vstupní klidový proud $U_O = 0\text{ V}$, $\theta_a = 25^\circ\text{C}$ $U_O = 0\text{ V}$, $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$	$I_{IB} = \text{jmen. } 70; \leq 250\text{ nA}$, $I_{IB} \leq 300\text{ nA}$.
Napěťové zesílení otevřené smyčky $ \Delta U_O = 10\text{ V}$, $\pm U_{CC} = \pm 15\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$ $\theta_a = 25^\circ\text{C}$ $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ\text{C}$	$A_{uo} = \text{jmen. } 160; \geq 25\text{ V/mV}$, $A_{uo} \geq 15\text{ V/mV}$.
Potlačení vlivu změn napájení $\pm U_{CC} = \pm 15\text{ V}$	$\text{SVR} = \text{jmen. } 96; \geq 70\text{ dB}$.
Potlačení vlivu soufázového napětí $\pm U_{CC} = \pm 15\text{ V}$	$\text{CMR} = \text{jmen. } 90; \geq 70\text{ dB}$.
Napájecí proud v klidu $\pm U_{CC} = \pm 15\text{ V}$, $R_L = \infty$	$I_{CCQ} = \text{jmen. } 1,8; \leq 3\text{ mA}$.
Výstupní napětí mezivrcholové $U_I = 100\text{ mV}$, $\pm U_{CC} = \pm 15\text{ V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$U_{O\text{MM}} = \text{jmen. } \pm 14; \geq \pm 12\text{ V}$, $U_{O\text{MM}} = \text{jmen. } \pm 13; \geq \pm 10\text{ V}$.
Rychlost změn signálu na výstupu Vstupní odpor	$\text{SR} = \text{jmen. } 0,5\text{ V}/\mu\text{s}$. $R_i = \text{jmen. } 2; \geq 0,5\text{ M}\Omega$.
Výstupní proud zkratový $U_i \geq 5\text{ mV}$	$I_{OS} = \text{jmen. } 25\text{ mA}$.



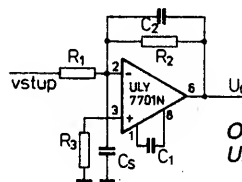
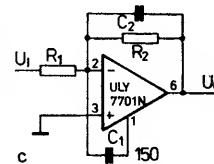
Obr. 97. Zapojení vývodů operačního zesilovače ULY7701N



Obr. 98. Způsob nulování vstupní napěťové nesymetrie operačního zesilovače ULY7701N potenciometrem $5,1\text{ M}\Omega$ (a), popř. $50\text{ k}\Omega$ (b)



Obr. 99. Zapojení pro kmitočtovou kompenzaci operačního zesilovače ULY7701N; jednopólová kompenzace – a, dvupólová kompenzace – b, kompenzace dvěma kondenzátory – c



Obr. 100. Ochrana operačního zesilovače ULY7701N kompenzací před parazitními kapacitami

lených pracovních teplot okolí zesilovače je od 0 do $+70^\circ\text{C}$. Elektrické údaje zesilovače jsou v tab. 10.

Operační zesilovač ULY7701N je přesnou elektrickou obdobou a zapojením vývodů zaměnitelný s výrobkem francouzské firmy SGS-Thomson SF.C2301ADC.

Základní způsob vyvážení vstupní napěťové nesymetrie operačního zesilovače ULY7701N je na obr. 98a a 98b. V prvním případě se vyvažovací potenciometr $5,1\text{ M}\Omega$ připojuje mezi vývod 5 a 8, běžec potenciometru přes rezistor R_4 na zemní potenciál. U druhého způsobu vyvažování se připojí rezistor $5,1\text{ M}\Omega$ na vývod 5 zesilovače a na běžec potenciometru $50\text{ k}\Omega$, který je připojen mezi záporné napájecí napětí a zemní potenciál.

Kmitočtovou kompenzaci je možno zavádět třemi způsoby. Na obr. 99a je navržena jednopólová kompenzace. Kapacita kompenzačního kondenzátoru C_1 závisí na odporu rezistorů R_1 , R_2 . Vypočte se podle vztahu

$$C_1 \geq \frac{R_1 C_S}{R_1 + R_2} \quad [\text{pF}],$$

kde $C_S = 30\text{ pF}$.

Dvupólová kompenzace podle obr. 99b využívá ke kompenzaci dvou kondenzátorů, přičemž kondenzátor C_2 má desetkrát větší kapacitu než kondenzátor C_1 . Kapacita kompenzačního kondenzátoru C_1 se vypočte podle uvedeného vztahu.

Třetí způsob kmitočtové kompenzace (proti přímému napájení) je na obr. 99c. Ke kompenzaci se využívá dvou kondenzátorů. Kondenzátor C_1 , připojený mezi invertující vstup a nulovací vývod, má kapacitu 150 pF . Kondenzátor C_2 s paralelně připojeným rezistorem R_2 je zapojen mezi invertující vstup a výstup. Kapacita kondenzátoru se vypočte podle vztahu

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_1 R_2} \quad [\text{pF}],$$

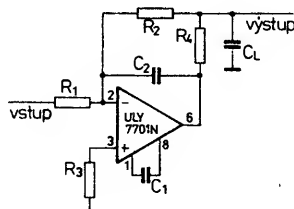
kde $f_1 = 3\text{ MHz}$.

Operační zesilovač ULY7701N se může chránit před parazitními vstupními kapacitami kompenzací podle obr. 100. Kapacita kondenzátoru C_1 závisí na odporech rezistorů R_1 a R_2 . Vypočte se podle

$$C_2 = \frac{R_1}{R_2} C_S \quad [\text{pF}],$$

kde $C_S = 30\text{ pF}$.

Izolace velké kapacitní zátěže operačního zesilovače je možná ochranným zapojením podle obr. 101.

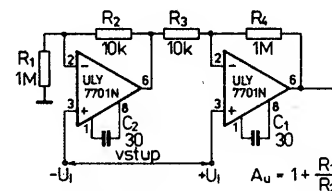


Obr. 101. Ochrana operačního zesilovače ULY7701N izolací před kapacitní zátěží

Doporučená zapojení

Dva operační zesilovače ULY7701N v zapojení podle obr. 102 mohou vytvořit přesný přístrojový zesilovač, jehož zisk je dán

$$A_u = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

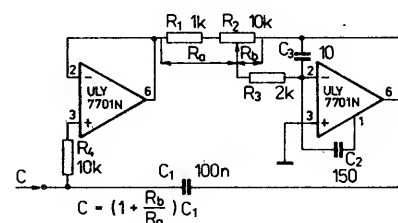


Obr. 102. Přístrojový zesilovač se dvěma operačními zesilovači ULY7701N

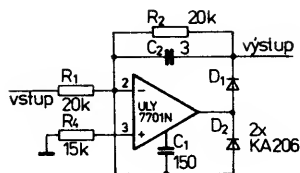
za předpokladu, že $R_1 = R_4$ a $R_2 = R_3$.

Zapojení násobiče s proměnnou kapacitou se dvěma operačními zesilovači ULY7701N je na obr. 103. Proměnná kapacita C je dána vztahem

$$C = \left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) C_1 \quad [\text{pF}].$$



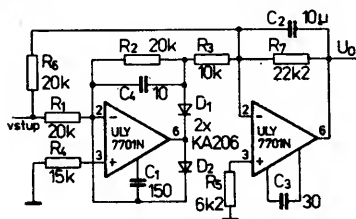
Obr. 103. Násobič s proměnnou kapacitou, osazený dvěma operačními zesilovači ULY7701N



Obr. 104. Zapojení rychlého pulzního detektoru s operačními zesilovači ULY7701N

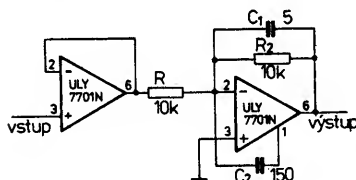
Rychlý pulzní detektor s operačním zesilovačem ULY7701N je na obr. 104. K výstupu jsou připojeny rychlé křemíkové diody 1N914 nebo součástky TESLA KA206 či KA207. Použijí-li se pomalejší diody, podstatně se tím zpomalí činnost detektoru.

Rychlý převodník střídavého napětí na stejnosměrné napětí, který je konstruován se dvěma operačními zesilovači ULY7701N, je na obr. 105. Zapojení pracuje s přesností lepší než 1 % při provozu na kmitočtu do 100 kHz.



Obr. 105. Zapojení rychlého převodníku střídavého napětí na stejnosměrné se dvěma operačními zesilovači ULY7701N

Rychlý invertující zesilovač s velkou vstupní impedancí, který je sestaven ze dvou operačních zesilovačů ULY7701N, je na obr. 106. Přesnost činnosti je dána použitými rezistory, jejich odpor se musí dodržet s přesností 1 %.

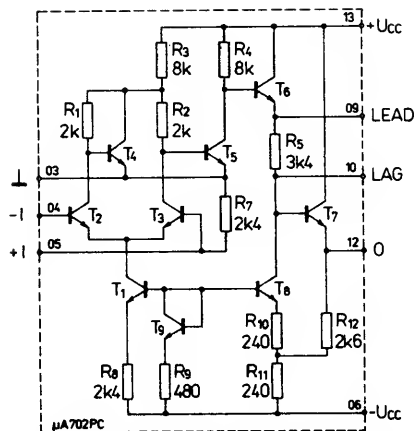


Obr. 106. Zapojení rychle pracujícího invertujícího zesilovače s velkou vstupní impedancí se dvěma integrovanými obvody ULY7701N

Širokopásmový stejnosměrný operační zesilovač $\mu A702PC$

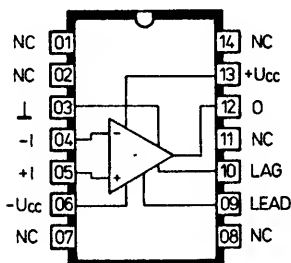
Monolitický stejnosměrný operační zesilovač $\mu A702PC$ maďarské výroby MEV (Tungsram) je vhodný k použití jako operační zesilovač v analogových počítačích, jako přesný přístrojový zesilovač a v řadě jiných zapojení, kde je žádoucí zesilovač se zavedenou zpětnou vazbou. Předností zesilovače jsou malá vstupní napětí a proudová nesymetrie, velká šířka přenášeného pásma (typicky 20 MHz), velká rychlost přeběhu 5 V/ μs a možnost použití jako operační zesilovač v rozsahu od stejnosměrného zesilovače až po zesilovač s kmitočtem do 30 MHz.

Vnitřní elektrické zapojení zesilovače je na obr. 107. Zesilovač nemá vnitřní kmito-



Obr. 107. Vnitřní elektrické zapojení operačního zesilovače $\mu A702PC$

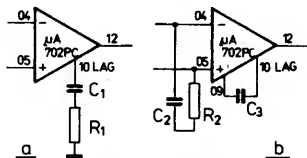
tovou kompenzací, proto se musí kompenzovat vnějšími součástkami. Součástka je v plastovém pouzdru DIL-14 s 2x sedmi vývody ve dvou řadách. Zapojení vývodů je na obr. 108. Elektrické údaje zesilovače jsou v tab. 11. Funkce vývodů: -I - invertující vstup, +I - neinvertující vstup, O - výstup,



Obr. 108. Zapojení vývodů operačního zesilovače $\mu A702PC$

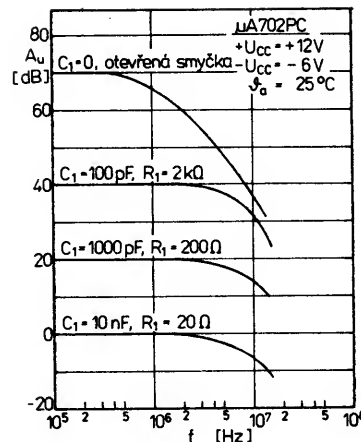
LAG - vývod pro připojení kompenzačního členu R_1, C_1 (vůči zemi), LEAD - vývod pro připojení kompenzačního kondenzátoru C_3 (vůči vývodu 09).

Ve srovnání s běžnými operačními zesilovači je možné zesilovač $\mu A702PC$ kmitočtově kompenzovat dvěma odlišnými způsoby. Kompenzace podle obr. 109a využívá členu C_1, R_1 , který se připojuje mezi vývod 10 a zemní potenciál. Kapacita kondenzátoru a odpor rezistoru členu RC se volí podle žádaného zisku v požadovaném kmitoč-



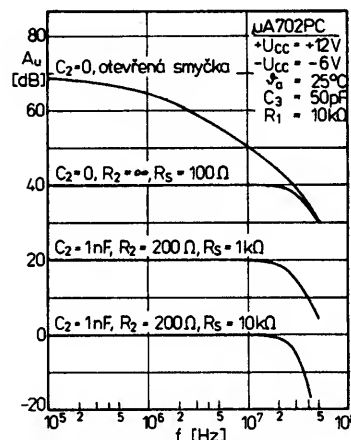
Obr. 109. Kmitočtová kompenzace operačního zesilovače $\mu A702PC$; a - kompenzace členem R_1, C_1 ve vývodu LAG, b - kompenzace sériovým členem C_2, R_2 mezi vstupními vývody a kondenzátorem C_3 mezi kompenzačními vývody LAG a LEAD

vém rozsahu. Konkrétní údaje těchto součástek je možno zjistit z diagramu na obr. 110. Největší napěťový zisk 70 dB zesilovače je při otevřené smyčce, kdy C_1 je rovno 0 pF. Naopak nulový zisk zesilovače je lineární až asi do 3 MHz, pak se zvolna zmenšuje do záporných hodnot -10 dB na kmitočtu okolo 20 MHz, použijí-li se kompenzační rezistor 20 Ω a kondenzátor 10 nF.



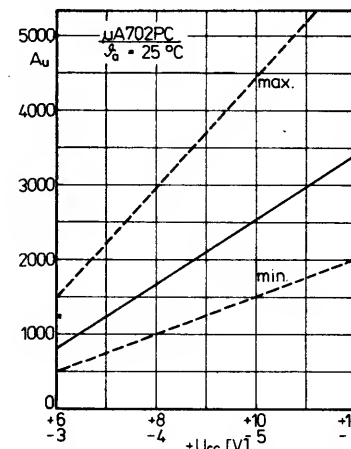
Obr. 110. Závislost napěťového zisku uzavřené smyčky operačního zesilovače $\mu A702PC$ na kmitočtu při kompenzaci ve vývodu LAG s různými C_1, R_1

Při druhém způsobu kmitočtové kompenzace podle obr. 109b se připojuje kompenzační kondenzátor C_3 s doporučenou kapacitou 50 pF mezi oba kompenzační vývody LAG a LEAD a mezi oba vstupní vývody se navíc připojí člen R_2, C_2 . Údaje těchto součástek je možné zjistit z diagramu na obr. 111.



Obr. 111. Závislost napěťového zisku uzavřené smyčky operačního zesilovače $\mu A702PC$ na kmitočtu při kompenzaci mezi vývody LAG a LEAD s různými C_2, R_2

Napěťový zisk s otevřenou smyčkou je největší, jestliže se nepoužije kompenzační kondenzátor, ovšem jen do kmitočtu 100 kHz, pak se prudce zmenšuje. Prakticky



Obr. 112. Závislost napěťového zisku operačního zesilovače $\mu A702PC$ na použitém napájecím napětí

Tab. 11. Elektrické údaje operačního zesilovače $\mu A702PC$

Mezní údaje	
Napájecí napětí mezi vývody 13 a 06	$U_{13/6} \leq 21 \text{ V}$
Vstupní napětí	$U_i = +1,5 \text{ až } -6,0 \text{ V}$
Vstupní napětí diferenční	$U_{ID} = -5 \text{ až } +5 \text{ V}$
Výstupní proud vrcholový	$I_{OM} \leq 50 \text{ mA}$
Ztrátový výkon celkový	$P_{tot} \leq 670 \text{ mW}$
Rozsah pracovní teploty okolí	$\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$
Rozsah skladovacích teplot	$\vartheta_{stg} = -65 \text{ až } +150 \text{ }^\circ\text{C}$
Teplota vývodu při pájení ($t < 10 \text{ s}$)	$\vartheta_L = +260 \text{ }^\circ\text{C}$
Charakteristické údaje	
Platí při $\vartheta_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $+U_{CC} = +12 \text{ V}$, $-U_{CC} = -6 \text{ V}$, není-li uvedeno jinak	
Vstupní napěťová nesymetrie	$U_{IO} = \text{jmen. } 1,5; \leq 5 \text{ mV}$
$R_S \leq 2 \text{ k}\Omega$	$U_{IO} = \text{jmen. } 1,7; \leq 6 \text{ mV}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$I_{IO} = \text{jmen. } 0,5; \leq 2 \text{ }\mu\text{A}$
Vstupní proudová nesymetrie	$I_{IO} = \text{jmen. } 0,3; \leq 2 \text{ }\mu\text{A}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$I_{IB} = \text{jmen. } 2,5; \leq 7,5 \text{ }\mu\text{A}$
Vstupní klidový proud	$I_{IB} = \text{jmen. } 1,5; \leq 5,0 \text{ }\mu\text{A}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$R_i = \text{jmen. } 32; \geq 10 \text{ k}\Omega$
Vstupní odpor	$R_i = \text{jmen. } 55; \geq 16 \text{ k}\Omega$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$U_i = -4,0 \text{ až } +0,5 \text{ V}$
Rozsah vstupního napětí	$U_i = -1,5 \text{ až } +0,5 \text{ V}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	
Potlačení souhlasného signálu	CMR = jmen. 92; $\geq 70 \text{ dB}$
$R_S \leq 2 \text{ k}\Omega$, $f \leq 1 \text{ kHz}$	
Napěťový zisk s velkým signálem	$A_v = \text{jmen. } 3400; 2000 \text{ až } 6000$
$R_L \geq 100 \text{ k}\Omega$, $U_O = \pm 5,0 \text{ V}$	
$R_L \geq 100 \text{ k}\Omega$, $U_O = \pm 2,5 \text{ V}$	$A_v = \text{jmen. } 800; 500 \text{ až } 1500$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$R_O = \text{jmen. } 200; \leq 600 \text{ }\Omega$
Výstupní odpor	$R_O = \text{jmen. } 300; \leq 800 \text{ }\Omega$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	
Napájecí proud	$I_{CC} = \text{jmen. } 5,0; \leq 6,7 \text{ mA}$
$U_O = 0 \text{ V}$	$I_{CC} = \text{jmen. } 2,1; \leq 3,3 \text{ mA}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$, $U_O = 0 \text{ V}$	
Příkon	$P_{tot} = \text{jmen. } 90; \leq 120 \text{ mW}$
$U_O = 0 \text{ V}$	$P_{tot} = \text{jmen. } 19; \leq 30 \text{ mW}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$, $U_O = 0 \text{ V}$	
Přechodové vlastnosti	
$A_u = 1$, $C_1 = 0,01 \text{ }\mu\text{F}$, $R_1 = 20 \text{ }\Omega$	
$R_L \leq 100 \text{ k}\Omega$, $U_i = 100 \text{ mV}$, $C_L = 100 \text{ pF}$	
Doba náběhu	$t_r = \text{jmen. } 25; \leq 120 \text{ ns}$
Překmit	jmen. 10; $\leq 50 \%$
$A_u = 100$, $C_3 = 50 \text{ pF}$, $R_L \geq 100 \text{ k}\Omega$	
$U_i = 1 \text{ mV}$	
Doba náběhu	$t_r = \text{jmen. } 10; \leq 30 \text{ ns}$
Překmit	jmen. 20; $\leq 40 \%$

Platí při $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$, $+U_{CC} = +12 \text{ V}$, $-U_{CC} = -6 \text{ V}$, není-li uvedeno jinak.	
Vstupní napěťová nesymetrie	$U_{IO} \leq 6,5 \text{ mV}$
$R_S \leq 2 \text{ k}\Omega$	$U_{IO} \leq 7,5 \text{ mV}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$, $R_S \leq 2 \text{ k}\Omega$	
Střední teplotní součinitel vstupní napěťové nesymetrie	$\frac{\Delta U_{IO}}{\Delta \vartheta_a} = \text{jmen. } 5,0; \leq 20 \text{ }\mu\text{V/K}$
$R_S = 50 \text{ }\Omega$, $\vartheta_a = +70 \text{ až } 0 \text{ }^\circ\text{C}$	$= \text{jmen. } 7,5; \leq 25 \text{ }\mu\text{V/K}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	
Vstupní proudová nesymetrie	$I_{IO} \leq 2,5 \text{ }\mu\text{A}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$I_{IO} \leq 2,5 \text{ }\mu\text{A}$
Střední teplotní součinitel vstupní proudové nesymetrie	$\frac{\Delta I_{IO}}{\Delta \vartheta_a} = \text{jmen. } 4,0; \leq 10 \text{ nA/K}$
$\vartheta_a = 25 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$	$= \text{jmen. } 3,0; \leq 8 \text{ nA/K}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$= \text{jmen. } 6,0; \leq 20 \text{ nA/K}$
$\vartheta_a = 25 \text{ až } 0 \text{ }^\circ\text{C}$	$= \text{jmen. } 5,5; \leq 18 \text{ nA/K}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	
Vstupní klidový proud	$I_{IB} = \text{jmen. } 4,0; \leq 12 \text{ }\mu\text{A}$
$\vartheta_a = 0 \text{ }^\circ\text{C}$	$I_{IB} = \text{jmen. } 2,7; \leq 8 \text{ }\mu\text{A}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$, $\vartheta_a = 0 \text{ }^\circ\text{C}$	$R_i = \text{jmen. } 18; \geq 6 \text{ k}\Omega$
Vstupní odpor	$R_i = \text{jmen. } 27; \geq 9 \text{ k}\Omega$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	
Potlačení souhlasného signálu	CMR = jmen. 86; $\geq 65 \text{ dB}$
$R_S \leq 2 \text{ k}\Omega$, $f \leq 1 \text{ kHz}$	CMR = jmen. 86; $\geq 65 \text{ dB}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	
Potlačení vlivu napájecího napětí na vstupní napěťovou nesymetrii	SVR = jmen. 90; $\leq 300 \text{ }\mu\text{V/V}$
$+U_{CC} = +12 \text{ V}$, $-U_{CC} = -6 \text{ V}$ až $+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$, $R_S \leq 2 \text{ k}\Omega$	
Napěťový zisk při velkém signálu	$A_v = 1500 \text{ až } 7000$
$R_L \geq 100 \text{ k}\Omega$, $U_O = \pm 5,0 \text{ V}$	$A_v = 400 \text{ až } 1750$
$R_L \geq 100 \text{ k}\Omega$, $U_O = \pm 2,5 \text{ V}$	
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	
Rozkmit výstupního napětí	$U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } \pm 5,3; \geq \pm 5,0 \text{ V}$
$R_L \geq 100 \text{ k}\Omega$	$U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } 2,7; \geq \pm 2,5 \text{ V}$
$R_L \geq 100 \text{ k}\Omega$, $+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } \pm 4,0; \geq \pm 3,5 \text{ V}$
$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$, $+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$	$U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } \pm 2,0; \geq \pm 1,5 \text{ V}$
Napájecí proud	$I_{CC} = \text{jmen. } 5,0; \leq 7,0 \text{ mA}$
$U_O = 0 \text{ V}$	$I_{CC} = \text{jmen. } 2,1; \leq 3,9 \text{ mA}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$, $U_O = 0 \text{ V}$	
Příkon	$P_{tot} = \text{jmen. } 90; \leq 125 \text{ mW}$
$U_O = 0 \text{ V}$	$P_{tot} = \text{jmen. } 19; \leq 35 \text{ mW}$
$+U_{CC} = +6 \text{ V}$, $-U_{CC} = -3 \text{ V}$, $U_O = 0 \text{ V}$	

lineární průběh zisku je při zavedení kompenzačního členu $C_2 R_2$ a to až do kmitočtu 40 MHz.

Předností popisovaného operačního zesilovače $\mu A702PC$ je možnost napájet jej nesymetrickým napětím v rozmezí od $+6 \text{ V}$ až -3 V do $+12 \text{ V}$ až -6 V . Poměr kladného napájecího napětí vůči zápornému musí být vždy 2:1. Závislost napěťového zesílení zesilovače v závislosti na napájecím napětí je v diagramu na obr. 112. Při nejmenším dovoleném napětí je typicky 800, při největším napájecím napětí již 3400 (výrobce jej zaručuje v rozmezí od 2000 do 8000).

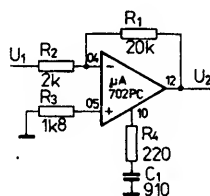
Typická doporučená zapojení

Praktických používaných zapojení operačních zesilovačů $\mu A702PC$ je mnoho a nelze je všechny obsáhnout v této publikaci. Z nich je charakteristické zapojení nesymetrického invertujícího zesilovače se zavedenou zpětnou vazbou podle obr. 113. Zesílení zesilovače je dáno poměrem odporů rezistorů R_2 a R_1 podle vztahu

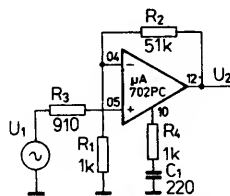
$$A_v = \frac{U_2}{U_1} = - \frac{R_2}{R_1}$$

S uvedenými součástkami je zesílení -10 . Znaménko minus před údajem zesílení udává fázový posuv o 180° .

Rezistor R_3 se může volit libovolně. Slouží k udržení vstupní napěťové nesymetrie a její



Obr. 113. Typické zapojení invertujícího zesilovače s $\mu A702PC$



Obr. 114. Typické zapojení neinvertujícího zesilovače s $\mu A702PC$

tepelné závislosti na nejmenší možné míře. Optimální odpor rezistoru R_3 dostaneme ze vztahu

$$R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Člen $R_4 C_1$ slouží ke kmitočtové kompenzaci a zaručuje dobrou stabilitu zesilovače

(viz již popsany způsob kompenzace a diagram na obr. 110).

Na obr. 114 je zapojení neinvertujícího zesilovače. Jestliže předpokládáme, že jako v předchozím případě je zesílení téměř ∞ a zanedbáme-li vstupní proud, jsou invertující a neinvertující vstup vždy na stejném potenciálu. Napěťové zesílení se pak vypočte podle vztahu

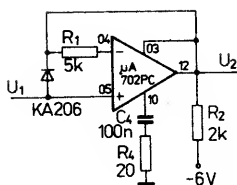
$$A_{uo} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Bude-li odpor rezistoru R_2 mnohem větší než R_1 , můžeme vztah upravit na

$$A_{uo} \sim \frac{R_2}{R_1}$$

Rezistor R_3 má optimálně zvolený odpor k dosažení co nejmenší vstupní napěťové nesymetrie. Zesilovač se součástkami podle obr. 114 má napěťové zesílení 50.

Jestliže se zapojí integrovaný obvod $\mu A702PC$ jako neinvertující napěťový sledovač podle obr. 115, jeho omezený rozsah souhlasného napětí (v kladném smyslu) omezí přípustné vstupní vrcholové napětí v provozu. Toto omezení můžeme obejít, jestliže se zemnicí bod (vývod 03) spojí



Obr. 115. Napěťový sledovač s operačním zesilovačem $\mu A702PC$

přímo s výstupem (zapojení bootstrap). Tím se zamezí přebuzení obou vstupů zesilovače v kladném smyslu (vztaheno vůči zemnímu vývodu, nikoli vůči zemi). Rezistor R_2 rozšiřuje možný záporný rozsah vybuzení výstupu při velkém zatížení. Člen R_4C_4 , připojený mezi vývod LAG a zem, slouží ke kmitočtové kompenzaci. Křemiková dioda KA206 chrání vstup před přebuzením.

Klídkové napětí na výstupu operačního zesilovače $\mu A702PC$ není obvykle přesné nulové, i když na jeho vstup připojíme vstupní napětí přesně 0 V. Důvodem toho je několik příčin, především pak:

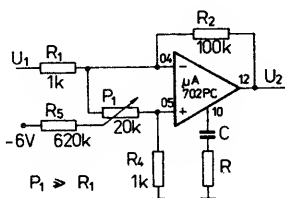
- chybně jsou přizpůsobeny vnitřní zesilovací stupně (odlišná napětí báze-emitor, zesilovací činitele vstupních tranzistorů – společný kolektorový rezistor),
- napěťový úbytek, způsobený konečným vstupním proudem, který protéká sériovým rezistorem R_2 .

Protože zmenšení výstupního napětí závisí na zesílení smyčky zesilovače, je výhodné vztahovat klídkové napětí na vstup a definovat následujícím způsobem: Vstupní napěťová nesymetrie je napětí, které se musí přivést mezi oba vstupy, aby výstupní napětí bylo přesně 0 V. K dosažení celkové vstupní napěťové nesymetrie je nutné ještě přihlídnout k napěťovému úbytku, vytvořenému průtokem vstupního proudu na vstupním sériovém odporu. Ke zmenšení vlivu vstupního proudu na vstupní napěťovou nesymetrii se doporučuje volit přesně stejné velké účinné odpory rezistorů v obou vstupech.

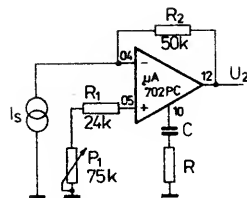
Rozdíl obou vstupních proudů se definuje jako vstupní proudová nesymetrie. Velikost tohoto proudu, násobená vstupním odporem, ovlivňuje celkovou vstupní napěťovou nesymetrii. Pro stejnosměrné zesilovače se obvykle vyžaduje zmenšení vstupní napěťové nesymetrie nezávislými vnějšími zapojeními. U střídavých zesilovačů je vnější úprava výstupu o to zajímavější, že vybuditelnost zesilovače s malých zkreslením je omezená, jestliže se statické výstupní napětí odchyluje od nuly.

Volba vnějšího nulovacího zapojení vstupní napěťové nesymetrie závisí obecně na vnitřním odporu zdroje signálu. Při malých impedancích (pod 2 k Ω) se doporučuje použít nulovací zapojení podle obr. 116. Při signálech s vnitřním odporem větším než 2 k Ω se má použít nulovací obvod podle obr. 117. U prvního nulovacího zapojení podle obr. 116 platí podmínka

$$P_1 \gg R_1,$$



Obr. 116. Způsob vyvážení vstupní napěťové nesymetrie operačního zesilovače $\mu A702PC$



Obr. 117. Způsob vyvážení vstupní napěťové nesymetrie operačního zesilovače $\mu A702PC$ při proudovém řízení

$$\frac{R_4 U_-}{R_5} \sim 10 \text{ mV},$$

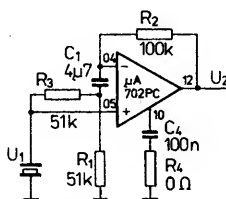
kde U_- je přiváděné vnější napětí -6 V.

Pro nulovací zapojení podle obr. 117 platí podmínka navrhování rezistorů:

$$(P_1 + R_1) \min. \sim \frac{R_2}{2},$$

$$(P_1 + R_1) \max. \sim 2R_2$$

Zavedením zpětné vazby z výstupu na neinverující vstup podle obr. 118. získáme



Obr. 118. Zesilovač pro piezoelektrické měniče s operačním zesilovačem $\mu A702PC$

velký vstupní odpor operačního zesilovače $\mu A702PC$, který je potřebný u zesilovačů, pracujících ve spojení s měniči s velkou impedancí na vstupu. Pro zesílení střídavého napětí až do několika kHz platí vztah

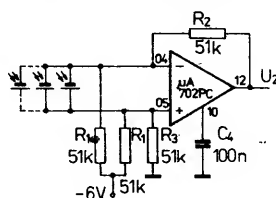
$$A_1 = \frac{R_1 + R_2}{R_1}.$$

Rezistor R_3 spolu s kondenzátorem C_1 slouží jako zpětnovazební člen pro neinverující vstup a současně zlepšuje teplotní stabilitu a zmenšuje vstupní klidový proud. K dosažení co největšího vstupního odporu platí

$$R_3 \sim R_2 - R_1.$$

Popsaný zesilovač s doporučenými součástkami má napěťový zisk okolo 3, vstupní impedanci min. 5 M Ω a dolní mezní kmitočet 1 Hz (pro pokles -3 dB). K dosažení maximální šířky pásma se musí volit odpor rezistoru R_4 a kapacita C_4 podle dříve popsaných zásad.

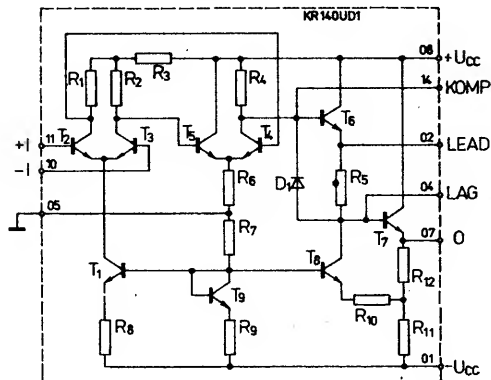
Na obr. 119 je zajímavé zapojení „slunečního“ zesilovače s integrovaným obvodem $\mu A702PC$, k jehož vstupu jsou připojeny sluneční články. Při dopadu světla na sluneční články vydávají články napěťový signál, který pak operační zesilovač zesiluje. Po dalším vyhodnocení a zesílení může tento signál regulovat připojené přístroje. Polarita výstupního signálu zesilovače je přitom závislá na relativní intenzitě osvětlení slunečních článků. Pracovní bod souhlasného napětí je asi -3 V, citlivost je 50 mV/ μA . Kondenzátor C_4 slouží ke kmitočtové stabilizaci.



Obr. 119. Zesilovač napětí ze slunečních článků s operačním zesilovačem $\mu A702PC$

Operační zesilovače KR140UD1A, KR140UD1B, KR140UD1V, K140UD1A, K140UD1B, K140UD1V, K1UT401A, K1UT401B

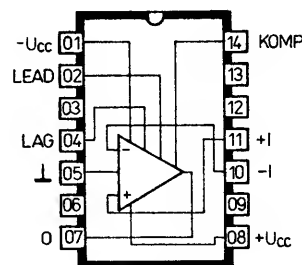
Sovětský průmysl polovodičových součástek vyrábí bipolární operační zesilovače řady KR140UD1 a K140UD1, které lze funkčně porovnávat s operačními zesilovači $\mu A702PC$, i když jejich elektrické vlastnosti se odlišují. Vnitřní elektrické zapojení na obr. 120 platí pro zesilovače řady KR140UD1



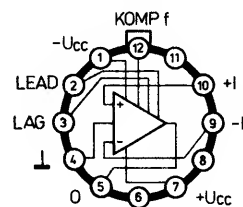
Obr. 120. Vnitřní elektrické zapojení operačních zesilovačů KR140UD1A, 1B a 1V

v pouzdru DIL-14, po přečíslování vývodů též pro obě další řady zesilovačů K140UD1 a K1UT401 v kovovém pouzdru. Všechny uvedené operační zesilovače jsou určeny pouze pro nízkofrekvenční účely.

Integrované obvody KR140UD1 jsou dodávány v plastovém pouzdru DIL-14 s 2 \times sedmi vývody ve dvou řadách, obvody K140UD1 a K1UT401 jsou v kovovém pouzdru se dvanácti vývody, rozloženými do kruhu ve skleněné průchodce. Zapojení vývodů těchto součástek je na obr. 121 a 122.



Obr. 121. Zapojení vývodů operačního zesilovače KR140UD1A, 1B a 1V



Obr. 122. Zapojení vývodů operačních zesilovačů K140UD1A, 1B, 1V, K1UT401A, 1B

Funkce vývodů je stejná jako u obvodu $\mu A702PC$. Jediný rozdíl je ve vývodu KOMP, kterým je vyvedena báze tranzistoru T_6 . Tento vývod slouží k zavedení vnější korekce kmitočtového průběhu a nastavení napěťového zesílení zesilovače.

I když funkce sovětských operačních zesilovačů uvedených řad je podobná funkci obvodu $\mu A702PC$, nejsou tyto součástky

Tab. 12. Elektrické údaje operačních zesilovačů KR140UD1A, KR140UD1B, KR140UD1V, K140UD1A, K140UD1B, K140UD1V, K1UT401A, K1UT401B

Mezní údaje	
Napájecí napětí KR140UD1A, K140UD1A, K1UT01A KR140UD1B, K140UD1B, K1UT401B KR140UD1V, K140UD1V Vstupní napětí diferenční Vstupní napětí souřadové KR140UD1A, K140UD1A, K1UT401A KR140UD1B, K140UD1B, K1UT401B KR140UD1V, K140UD1V Výstupní proud Výstupní proud stejnosměrný Zatěžovací odpor Rozsah provozních teplot okolí K140UD1, K1UT401	$\pm U_{CC} \leq \pm 7 \text{ V}$, $\pm U_{CC} \leq \pm 13 \text{ V}$, $\pm U_{CC} \leq \pm 13 \text{ V}$, $U_{ID} \leq \pm 1,2 \text{ V}$, $U_{IC} \leq \pm 3 \text{ V}$, $U_{IC} \leq \pm 6 \text{ V}$, $U_{IC} \leq \pm 6 \text{ V}$, $I_O \leq 0,9 \text{ mA}$, $I_O \leq 2,5 \text{ mA}$, $R_L \leq 5,1 \text{ k}\Omega$, $\vartheta_a = -45 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_a = -10 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$.
Charakteristické údaje	
Platí při $\pm U_{CC} = 6,3 \text{ V}$: KR140UD1A, K140UD1A, K1UT401A $\pm U_{CC} = 12,6 \text{ V}$: KR140UD1B, KR140UD1V, K140UD1B, K140UD1V, K1UT1B	
Vstupní napěťová nesymetrie KR140UD1 K140UD1 K1UT401 Vstupní proudová nesymetrie KR140UD1A, K140UD1A K1UT401A KR140UD1B, K140UD1B K1UT401B KR140UD1V, K140UD1V Vstupní klidový proud KR140UD1A, K140UD1A K1UT401A KR140UD1B, K140UD1B K1UT401B KR140UD1V, K140UD1V Napěťové zesílení KR140UD1A, K140UD1A K1UT401A KR140UD1B, K140UD1B K1UT401B KR140UD1V, K140UD1V Výstupní napětí KR140UD1A K140UD1A, K1UT401A KR140UD1B, K140UD1B, KR140UD1V, K140UD1V K1UT401B Napájecí proud KR140UD1A, K140UD1A KR140UD1B, K140UD1B, KR140UD1V, K140UD1V K1UT401A, K1UT401B	$U_{IO} \leq 7,0 \text{ mV}$, $U_{IO} \leq 17 \text{ mV}$, $U_{IO} \leq 10 \text{ mV}$, $I_{IO} \leq 2,5 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 3,0 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 2,0 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 3,0 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 2,5 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 7,0 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 8,0 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 7,5 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 12 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IO} \leq 9,0 \text{ }\mu\text{A}$, $A_u = 500 \text{ až } 4500$, $A_u = 400 \text{ až } 4500$, $A_u = 1350 \text{ až } 12\,000$, $A_u = 1300 \text{ až } 12\,000$, $A_u \geq 8000$, $U_{O \text{ M/M}} = -2,8 \text{ až } +3,0 \text{ V}$, $U_{O \text{ M/M}} = -2,8 \text{ až } +2,8 \text{ V}$, $U_{O \text{ M/M}} = -5,7 \text{ až } +6,0 \text{ V}$, $U_{O \text{ M/M}} = -5,7 \text{ až } +5,7 \text{ V}$, $I_{CC} \leq 4,5 \text{ mA}$, $I_{CC} \leq 10 \text{ mA}$, $I_{CC} \leq 3,0 \text{ mA}$.

Tab. 13. Elektrické údaje velmi rychlého operačního zesilovače $\mu\text{A}715\text{PC}$

Mezní údaje	
Napájecí napětí Vstupní napětí ¹⁾ Vstupní napětí diferenční ¹⁾ Ztrátový výkon celkový Rozsah provozních teplot okolí Rozsah skladovacích teplot Teplota vývodů při pájení $t \leq 10 \text{ s}$	$\pm U_{CC} \leq \pm 18 \text{ V}$, $U_I \leq \pm 15 \text{ V}$, $U_{ID} \leq \pm 15 \text{ V}$, $P_{tot} \leq 670 \text{ mW}$, $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{stg} = -65 \text{ až } +150 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_L \leq 260 \text{ }^\circ\text{C}$.
Charakteristické údaje	
Platí při $\pm U_{CC} = \pm 15 \text{ V}$, $\vartheta_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, není-li uvedeno jinak.	
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$ Vstupní proudová nesymetrie Vstupní klidový proud Vstupní odpor Rozsah vstupního napětí Potlačení souhlasného napětí $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$ Potlačení vlivu napájecího napětí na vstupní napěťovou nesymetrii $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$ Napěťový zisk při velkém signálu $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$, $U_O = \pm 10 \text{ V}$ Výstupní odpor Napájecí proud Přikon Doba ustálení (jednotkový zisk) $U_O = +5 \text{ V}$ Přechodné vlastnosti (jednotkový zisk) $U_I = 400 \text{ mV}$ doba náběhu překmit Rychlost přeběhu $A_u = 100$ $A_u = 10$ $A_u = 1$ $A_u = -1$	$U_{IO} = \text{jmen. } 2,0; \leq 7,5 \text{ mV}$, $I_{IO} = \text{jmen. } 70; \leq 250 \text{ nA}$, $I_{IB} = \text{jmen. } 0,4; \leq 1,5 \text{ }\mu\text{A}$, $R_I = \text{jmen. } 1,0 \text{ M}\Omega$, $U_I = \text{jmen. } \pm 12; \geq \pm 10 \text{ V}$, $\text{CMR} = \text{jmen. } 92; \geq 74 \text{ dB}$, $\text{SVR} = \text{jmen. } 45; \leq 400 \text{ }\mu\text{V/V}$, $A_u = \text{jmen. } 30\,000; \geq 10\,000$, $R_O = \text{jmen. } 75 \text{ }\Omega$, $I_{CC} = \text{jmen. } 5,5; \leq 10 \text{ mA}$, $P = \text{jmen. } 165; \leq 300 \text{ mW}$, $\text{jmen. } 800 \text{ ns}$, $\text{jmen. } 30; \leq 75 \text{ ns}$, $\text{jmen. } 25; \leq 50 \text{ }\%$, $\text{jmen. } 70 \text{ V}/\mu\text{s}$, $\text{jmen. } 38 \text{ V}/\mu\text{s}$, $\text{jmen. } 18; \geq 10 \text{ V}/\mu\text{s}$, $\text{jmen. } 100 \text{ V}/\mu\text{s}$.
Platí při $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70 \text{ }^\circ\text{C}$, není-li uvedeno jinak.	
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S \leq 10 \text{ k}\Omega$ Vstupní proudová nesymetrie $\vartheta_a = +70 \text{ }^\circ\text{C}$ $\vartheta_a = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ Vstupní klidový proud $\vartheta_a = +70 \text{ }^\circ\text{C}$ $\vartheta_a = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ Napěťový zisk s velkým signálem $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$, $U_O = \pm 10 \text{ V}$ Rozkmit výstupního napětí $R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$U_{IO} \leq 10 \text{ mV}$, $I_{IO} \leq 250 \text{ nA}$, $I_{IO} \leq 750 \text{ nA}$, $I_{IB} \leq 1,5 \text{ }\mu\text{A}$, $I_{IB} \leq 7,5 \text{ }\mu\text{A}$, $A_u \geq 8000$, $U_{O \text{ M/M}} = \text{jmen. } \pm 13; \geq \pm 10 \text{ V}$.

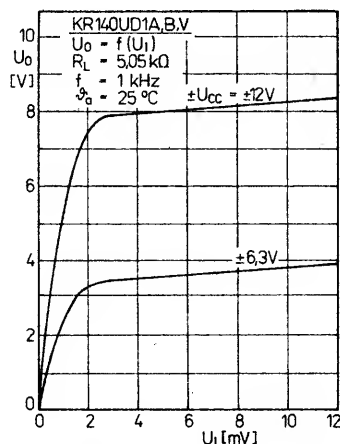
1. Při napájecím napětí menším než $\pm 15 \text{ V}$ je velikost maximálního vstupního napětí rovna použitému napájecímu napětí.

vývodově navzájem slučitelné. Zapojení vývodů zesilovačů v pouzdru DIL-14 i v kovovém pouzdru je zcela odlišné!

Elektrické údaje všech tří řad operačních zesilovačů jsou v tab. 12. Každá řada zesilovačů obsahuje vždy po třech podtypech, které vznikly tříděním podle elektrických vlastností ve výrobě. Provedení A (poslední písmeno typového znaku) je určeno pro méně náročná nízkofrekvenční použití, zesilovače pracují s napájecím napětím $\pm 6,3 \text{ V}$ a jejich napěťové zesílení je 500 až 4500. Provedení B má napěťové zesílení 1350 až 12 000, provedení V minimálně 8000, obě řady se napájejí napětím $\pm 12 \text{ V}$.

Z hlediska elektrického je třeba zdůraznit, že sovětské zesilovače se napájejí symetrickým napětím na rozdíl od zesilovače $\mu\text{A}702\text{PC}$, který se napájí napětím $+12 \text{ V}/-6 \text{ V}$ nebo $+6 \text{ V}/-3 \text{ V}$.

Operační zesilovače K1UT401A a K1UT401B jsou nestarší typy a již se nevyrábějí. V průběhu let byly podle nové normy pro typové označování integrovaných



Obr. 123. Závislost výstupního napětí operačních zesilovačů KR140UD1 řady na vstupním napětí při napájecím napětí $\pm 6,3 \text{ V}$ a $\pm 12 \text{ V}$

obvodů přeznačeny na K140UD1A a K140UD1B, které je plně nahradí. Ve starších zařízeních, kde se dosud vyskytují, se mohou nahradit novým provedením.

Popisované zesilovače všech tří řad nejsou vnitřně kompenzovány, proto se musí u nich zavádět vnější kmitočtová kompenzace připojením kondenzátoru mezi vývody LEAD a LAG. Způsob kompenzace je obdobný jako u zesilovačů $\mu\text{A}702\text{PC}$ ve vývodu LAG, popřípadě LAG a LEAD. Kmitočtový průběh charakteristiky u zesilovačů řady KR140UD1 lze dále upravit sériovým zapojením rezistoru R_1 a kondenzátoru C_1 (připojit mezi vývod 14 a záporný napájecí zdroj $-U_{CC}$). Napěťové zesílení je při tomto způsobu kompenzace dáno použitými součástkami. Průběh charakteristiky zůstává zcela

rovný až do kmitočtu asi 50 kHz, pak zvolna klesá. Při použití součástek $R_1 = 300 \Omega$, $C_1 = 510 \text{ pF}$ je zesílení 40 dB, $R_1 = 330 \Omega$, $C_1 = 710 \text{ pF}$ je zesílení 20 dB, $R_1 = 75 \Omega$, $C = 1000 \text{ pF}$ je zesílení 0 dB. Výstupní vlastnosti operačních zesilovačů dále doplňuje grafická závislost výstupního napětí na vstupním napětí na obr. 123.

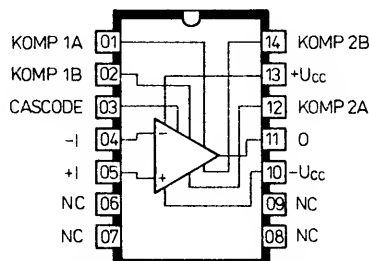
Velmi rychlý operační zesilovač $\mu\text{A}715\text{PC}$

Integrovaný obvod $\mu\text{A}715\text{PC}$ z výroby maďarského podniku MEV je velmi rychlý operační zesilovač, který se vyznačuje velkým zesílením (typicky 30 000), krátkou dobou ustálení (800 ns), velkou rychlostí přeběhu (100 V/ μs) a velkou šířkou pásma přenášených kmitočtů (65 MHz). Při použití s velkým signálem má zesilovač malou vstupní nesymetrii a velký rozkmit výstupního napětí, proto je vhodný pro použití v nejrůznějších zapojeních, u nichž je žádoucí rychlé zpracování signálu nebo velká šířka přenášeného pásma. Zesilovač je ideální součástkou pro analogové-číslicové a číslicové-analogové převodníky, aktivní filtry, vychylovací a obrazové zesilovače, fázové smyčky, multiplexovaná analogová hradla, přesné komparátory, vzorkovací a přídržné zesilovače a jiná zesilovací zapojení, pracující se stejným signálem či signálem vysokého kmitočtu.

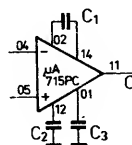
Vnitřní elektrické zapojení operačního zesilovače je na obr. 124. Zesilovač je v plastovém pouzdru DIL-14 s 2× sedmi vývody ve dvou řadách. Zapojení vývodů je na obr. 125. Funkce vývodů: -I - invertující vstup, +I - neinvertující vstup, KOMP 1A, KOMP 1B - kompenzace vstupní nesymetrie, KOMP 2A, KOMP 2B - kmitočtová kompenzace výstupu, O - výstup, CASCODE - vývod pro připojení diody při zapojení jako napěťový sledovač.

Popisovaný operační zesilovač se napájí symetrickým napětím doporučené velikosti $\pm 15 \text{ V}$. Může však pracovat i s jiným symetrickým napětím v širokém rozsahu od ± 6 do $\pm 18 \text{ V}$. Napájecí proud zesilovače při doporučeném napájecím napětí je typicky 5,5 mA. V provozu je zesilovač tepelně velmi stabilní. Elektrické vlastnosti zesilovače jsou v tab. 13.

Zesilovač $\mu\text{A}715\text{PC}$ není vybaven vnitřní kmitočtovou kompenzací, proto se musí kompenzovat vnějšími kondenzátory v za-

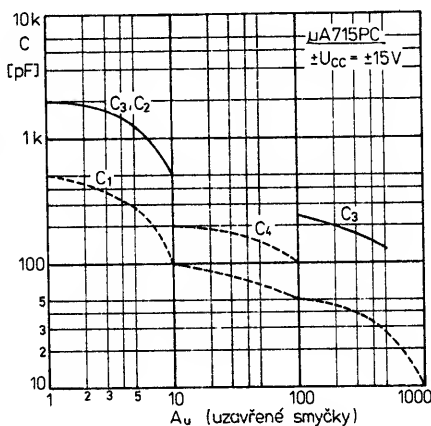


Obr. 125. Zapojení vývodů rychlého operačního zesilovače $\mu\text{A}715\text{PC}$



Obr. 126. Vnější kmitočtová kompenzace operačního zesilovače $\mu\text{A}715\text{PC}$

pojení podle obr. 126. Jejich kapacity se musí volit podle žádaného zesílení uzavřené smyčky. Doporučené kapacity kompenzačních kondenzátorů neinvertujícího zesilovače jsou v tab. 14. Při zesílení uzavřené



Obr. 127. Doporučené kapacity kompenzačních kondenzátorů C_1 až C_4 v závislosti na zesílení uzavřené smyčky operačního zesilovače $\mu\text{A}715\text{PC}$

Tab. 14. Kompenzační součástky neinvertujícího operačního zesilovače $\mu\text{A}715\text{PC}$ v zapojení podle obr. 126

Zesílení při uzavřené smyčce	C_1 [pF]	C_2 [pF]	C_3 [pF]
1000	10	—	—
100	50	—	250
10	100	500	1000
1	500	2000	1000

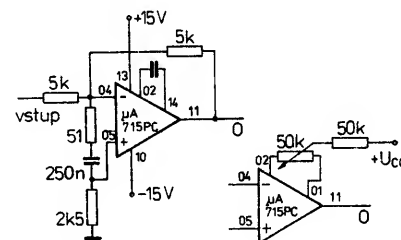
smyčky 10 se může kompenzace zjednodušit vynecháním kondenzátorů C_2 , C_3 . Místo nich se připojí mezi vývody 12 a 01 kondenzátor s kapacitou 200 pF.

Doporučené kapacity kompenzačních kondenzátorů operačního zesilovače $\mu\text{A}715\text{PC}$ při provozu s uzavřenou smyčkou se mohou rovněž zjistit z diagramu na obr. 127.

Zapojení invertujícího zesilovače s $\mu\text{A}715\text{PC}$ je navrženo na obr. 128. Toto zapojení se vyznačuje velkou rychlostí přeběhu. Doporučené hodnoty součástek jsou uvedeny v zapojení. Protože zapojení pracuje velmi rychle, může se u něj vyskytnout „záchytný“ jev. Ten se může potlačit připojením rychlé křemíkové diody mezi vývody 11 a 03. Dioda musí být pólována anodou k vývodu 03. Je to nejjednodušší způsob ochrany.

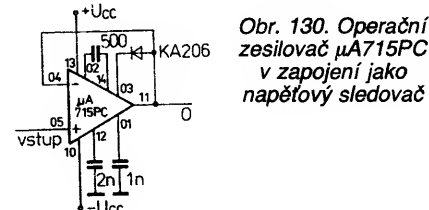
Vstupní napěťová nesymetrie se kompenzuje jednoduše v zapojení podle obr. 129, a to připojením kvalitního potenciometru 50 k Ω mezi vývody 02 a 01. Běžec potenciometru se připojí přes rezistor 50 k Ω ke kladnému napájecímu napětí.

Na obr. 130 je navrženo zapojení napěťového sledovače s operačním zesilovačem $\mu\text{A}715\text{PC}$. Doporučený typ křemíkové diody je KA206, KA207 nebo jiný typ rychlé diody.

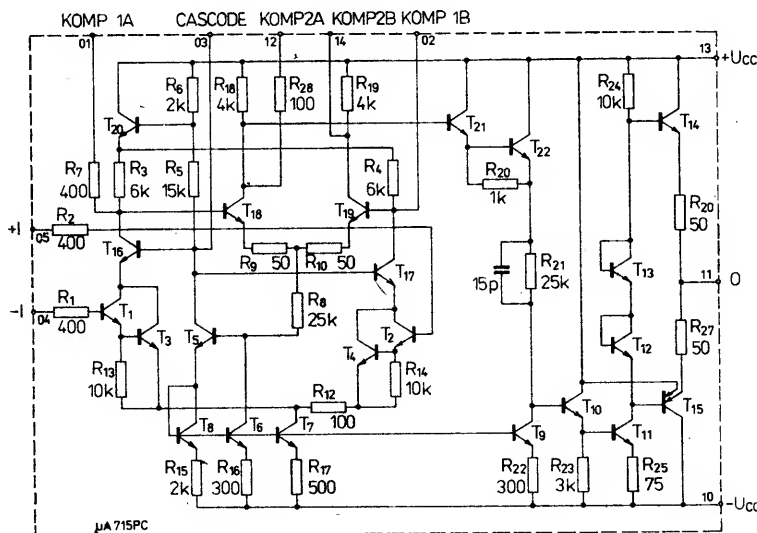


Obr. 128. Zapojení invertujícího zesilovače s $\mu\text{A}715\text{PC}$ (vlevo)

Obr. 129. Kompenzace vstupní napěťové nesymetrie operačního zesilovače $\mu\text{A}715\text{PC}$ (vpravo)



Obr. 130. Operační zesilovač $\mu\text{A}715\text{PC}$ v zapojení jako napěťový sledovač



Obr. 124. Vnitřní elektrické zapojení operačního zesilovače $\mu\text{A}715\text{PC}$

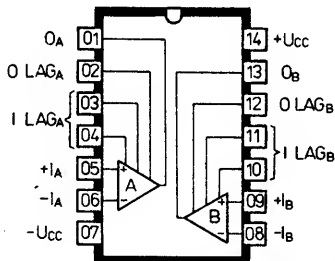
Ve všech použitých zapojeních operačních zesilovačů $\mu\text{A}715\text{PC}$ se musí blokovat přímo na vývodech obvodu přívody napájecích napětí kvalitními keramickými kondenzátory s kapacitou 100 nF. Příliš uzavřená smyčka, při níž je doba průchodu signálu dlouhá, je výsledkem působení větší kapacitní zátěže. Nevhodné působení zátěže se dá kompenzovat „izolací“ rezistorem 100 Ω . Stejný problém může vyvolat velký odpor zdroje signálu. Zmenšit jej můžeme přidáním kondenzátorem, připojeným paralelně ke zpětnovazebnímu rezistoru. Pro jednotkový zisk se doporučuje použít kondenzátor 50 pF, pro zisk 10 kondenzátor 3 pF.

Dvojitý operační zesilovač $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$

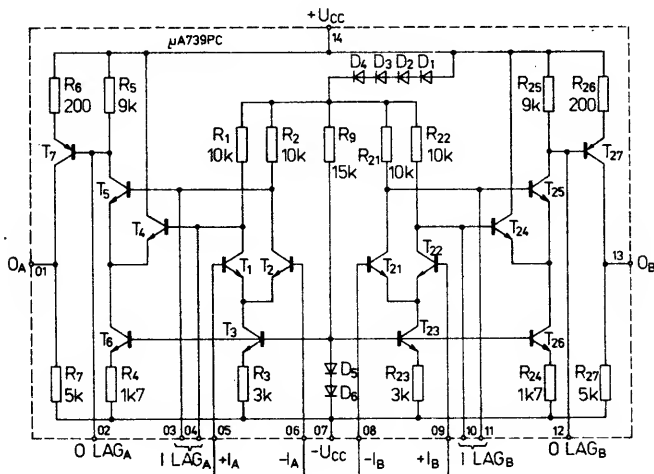
Maďarský výrobce MEV (dříve Tungsram) je výrobcem zajímavého a užitečného monolitického dvojitého operačního zesilovače $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$, který je vhodný pro stereofonní nízkofrekvenční předzesilovače. Na společné keramické podložce sdružuje dva identické operační zesilovače, jejichž vnitřní elektrické zapojení je na obr. 131. Oba systémy zesilovačů se vyznačují malým šumem (typicky 2,0 dB), velkým zesilovacím činitelem (typicky 20 000) a velmi stabilním provozem v širokém rozsahu napájecího napětí od ± 4 do ± 15 V. Dále se vyznačuje malou teplotní závislostí. Výstup obou zesilovačů je chráněn před zkratem jak vůči zemi, tak vůči napájecímu napětí ať kladnému či zápornému. Vzhledem k velmi dobrým vlastnostem se hodí popisovaný zesilovač rovněž pro nejrůznější zapojení v průmyslové elektronice, kde je nutno nasadit dva operační zesilovače se shodnými vlastnostmi do dvou kanálových cest.

Operační zesilovač $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$ je v plastovém pouzdru DIL-14 s $2 \times$ sedmi vývody ve dvou řadách s rastroem 2,54 mm a odstupem řad 7,6 mm. Funkce vývodů: $+I_A$, $+I_B$ – invertující vstup systému A, B; $-I_A$, $-I_B$ – invertující vstup systémů A, B; I_{LAG_A} , I_{LAG_B} – vývody pro vnější kmitočtovou kompenzaci vstupu systému A, B; O_A , O_B – výstup systému A, B; O_{LAG_A} , O_{LAG_B} – vývod pro kompenzaci výstupu (pokud je nezbytná). Zapojení vývodů zesilovače je na obr. 132.

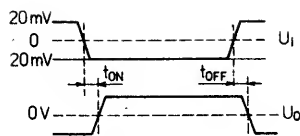
Charakteristickou vlastností popisovaného zesilovače je možnost jeho napájení bipolárním napětím od ± 4 do ± 15 V, aniž by se jeho napěťové zesílení podstatně měnilo. Typické zesílení při napájecím napětí ± 15 V a výstupním napětí ± 5 V je 20 000, zaručená minimální velikost je 6500. Při napájecím napětí ± 4 V se zesílení zmenší na typickou velikost 15 000, zaručená je velikost mini-



Obr. 132. Zapojení vývodů dvojitého operačního zesilovače $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$



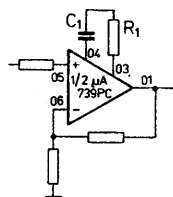
Obr. 131. Vnitřní elektrické zapojení dvojitého operačního zesilovače $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$



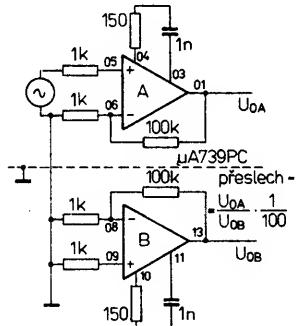
Obr. 133. Definice impulsních vlastností dvojitého operačního zesilovače $\mu A739PC$; t_{ON} – doba zapnutí, t_{OFF} – doba vypnutí

malně 2500. Při malém napájecím napětí se však zmenší výstupní napětí na ± 1 V. Z hlediska nízkofrekvenčního využití v zesilovačích s malým šumem je důležitou veličinou zesilovače malý šum (typicky 2 dB) v širokém kmitočtovém rozsahu od 10 Hz do 10 kHz.

Dynamické vlastnosti operačního zesilovače $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$ charakterizuje doba zapnutí a vypnutí zesilovače s otevřenou smyčkou, grafická definice průběhu impulsů na vstupu a výstupu zesilovače je na obr. 133. Kmitočtové vlastnosti zesilovače dále definuje doba přeběhu, která se měří v zapojení podle obr. 134. Přeslech mezi kanály měří výrobce v zapojení na obr. 135 signálem s relativně vysokým kmitočtem



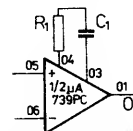
Obr. 134. Měřicí zapojení k určení kmitočtových vlastností operačního zesilovače $\mu A739PC$ (doby přeběhu při zesílení 1)



Obr. 135. Měřicí zapojení k určení přeslechu mezi kanály operačního zesilovače $\mu A739PC$

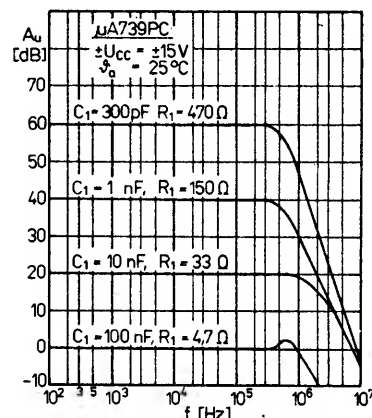
10 kHz. Typický přeslech 140 dB, který udává výrobce v charakteristických údajích, platí ovšem pouze na tomto kmitočtu. Na nižších kmitočtech se zmenšuje na 120 dB při měření signálem s kmitočtem 1000 Hz (ale i 100 kHz). Elektrické údaje operačního zesilovače $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$ jsou na tab. 15.

Operační zesilovač $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$ nemá vnitřní kmitočtovou kompenzaci. Oba systémy se proto musejí kompenzovat vnějšími součástkami. Zapojení vnějších součástí systému A je na obr. 136. Systém

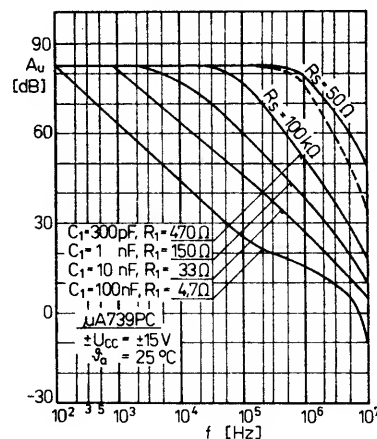


Obr. 136. Základní zapojení vnější kmitočtové kompenzace operačního zesilovače $\mu A739PC$

B se kompenzuje obdobným způsobem připojením vnějšího členu $R_1 C_1$ k vývodům 10 a 11. Skutečné hodnoty kompenzačních součástek závisí na požadovaném napěťovém zesílení. Pro zesilovač s uzavřenou smyčkou je můžeme zjistit z diagramu na obr. 137. Pro zesilovač s otevřenou smyčkou



Obr. 137. Diagram k určení vnějších součástek ke kmitočtové kompenzaci $\mu A739PC$ v zapojení s uzavřenou smyčkou pro napěťový zisk 0 až 60 dB v závislosti na přenášeném kmitočtu



Obr. 138. Diagram k určení vnějších součástek pro kmitočtovou kompenzaci operačního zesilovače $\mu A739PC$ v zapojení s otevřenou smyčkou pro napěťový zisk 82 dB v závislosti na přenášeném kmitočtu

Tab. 15. Elektrické údaje dvojitého operačního zesilovače $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$

Mezní údaje	
Napájecí napětí Vstupní napětí ¹⁾ Vstupní napětí diferenční Ztrátový výkon celkový $\theta_a = 70^\circ C$ Rozsah provozních teplot okolí $\mu A739PC$ $\mu A739PCE$ Rozsah skladovacích teplot Teplota vývodů při pájení, $t \leq 10 s$ Zkrat na výstupu $\theta_a = 25^\circ C$ ²⁾	$\pm U_{CC} \leq \pm 4 \text{ až } \pm 18 V.$ $U_I \leq \pm 15 V.$ $U_{ID} \leq \pm 5 V.$ $P_{tot} \leq 670 mW.$ $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ C,$ $\theta_a = -25 \text{ až } +85^\circ C.$ $\theta_{sig} = -55 \text{ až } +125^\circ C.$ $\theta_L \leq 260^\circ C.$ $t_K \leq 30 s.$
Charakteristické údaje	
Platí při $\pm U_{CC} = \pm 15 V$, $R_L = 50 k\Omega$ vůči vývodu 07, $\theta_a = 25^\circ C$, není-li uvedeno jinak.	
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S \leq 200 \Omega$ Vstupní proudová nesymetrie Vstupní klidový proud Vstupní odpor Napěťové zesílení s velkým signálem $U_O = \pm 5,0 V$ Kladné výstupní napětí vrcholové Záporné výstupní napětí vrcholové Výstupní odpor, $f = 1 \text{ kHz}$ Rozsah vstupního napětí Potlačení vlivu souhlasného signálu $R_S \leq 10 k\Omega$ Potlačení vlivu napájecího napětí na vstupní napěťovou nesymetrii $R_S \leq 10 k\Omega$ Příkon $U_O = 0 V$ Napájecí proud $U_O = 0 V$ Širokopásmový šumový činitel $R_S = 5 k\Omega$, $BW = 10 \text{ Hz až } 10 \text{ kHz}$	$U_{IO} = \text{jmen. } 1,0; \leq 6,0 mV.$ $I_{IO} = \text{jmen. } 50; \leq 1000 nA.$ $I_B = \text{jmen. } 300; \leq 2000 nA.$ $R_I = \text{jmen. } 150; \geq 37 k\Omega.$ $A_v = \text{jmen. } 20\,000; \geq 6500 V/V.$ $+U_{OM} = \text{jmen. } +13; \geq +12 V.$ $-U_{OM} = \text{jmen. } -15; \geq -14 V.$ $R_O = \text{jmen. } 5,0 k\Omega.$ $U_I = \text{jmen. } \pm 11; \geq \pm 10 V.$ $CMR = \text{jmen. } 90; \geq 70 \text{ dB.}$ $SVR = \text{jmen. } 50 \mu V/V.$ $P = \text{jmen. } 270; \leq 420 mW.$ $I_{CC} = \text{jmen. } 9,0; \leq 14 mA.$ $N_{BW} = \text{jmen. } 2,0 \text{ dB.}$
Dynamické vlastnosti	
otevřená smyčka, $U_I = \pm 20 mV$.	
Doba zpoždění při zapnutí ³⁾ Doba zpoždění při vypnutí ³⁾ Doba přeběhu (jednotkové zesílení) $C_1 = 0,1 \mu F$, $R_1 = 4,7 \Omega$ ⁴⁾ Přeslech mezi kanály $R_S \leq 10 k\Omega$, $f = 10 \text{ kHz}$ ⁵⁾	$t_{ON} = \text{jmen. } 0,2 \mu s.$ $t_{OFF} = \text{jmen. } 0,3 \mu s.$ $\text{jmen. } 1,0 V/\mu s.$ $\text{jmen. } 140 \text{ dB.}$
Platí při $\pm U_{CC} = 4,0 V$, $\theta_a = 25^\circ C$	
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S \leq 200 \Omega$ Vstupní proudová nesymetrie Vstupní klidový proud Napájecí proud $U_O = 0 V$ Příkon $U_O = 0 V$ Napěťové zesílení při velkém signálu $U_O = \pm 1,0 V$ Kladné výstupní napětí vrcholové Záporné výstupní napětí vrcholové	$U_{IO} = \text{jmen. } 1,0; \leq 6,0 mV.$ $I_{IO} = \text{jmen. } 50; \leq 1000 nA.$ $I_B = \text{jmen. } 300 nA.$ $I_{CC} = \text{jmen. } 2,5 mA.$ $P = \text{jmen. } 20 mW.$ $A_v = \text{jmen. } 15\,000; \geq 2500.$ $+U_{OM} = \text{jmen. } +2,8; \geq +2,5 V.$ $-U_{OM} = \text{jmen. } -4,0; \geq -3,6 V.$

1. Použije-li se napájecí napětí menší než $\pm U_{CC} = \pm 15 V$, musí se mezní vstupní napětí zmenšit na velikost napájecího napětí.
2. Zkrat na výstupu se může projevit vůči zemi nebo napájecímu napětí.
3. Viz definice impulsních vlastností na obr. 133.
4. V zapojení podle obr. 134.
5. V zapojení podle obr. 135.

jsou kompenzační součástky uvedeny v diagramu na obr. 138; platí při provozu zesilovače v zapojení podle obr. 136. V obou případech je uváděn průběh závislosti napěťového zesílení na provozním kmitočtu.

Tab. 16. Elektrické údaje dvojitého operačního zesilovače $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$

Mezní údaje	
Napájecí napětí Vstupní napětí ¹⁾ Vstupní napětí diferenční Ztrátový výkon celkový $\theta_a = 70^\circ C$ Rozsah provozních teplot $\mu A749PC$ $\mu A749PCE$ Rozsah skladovacích teplot Teplota vývodů při pájení, $t < 10 s$ Zkrat na výstupu ²⁾ $\theta_a = 25^\circ C$	$\pm U_{CC} \leq \pm 4 \text{ až } \pm 18 V.$ $U_I \leq \pm 15 V.$ $U_{ID} \leq \pm 5 V.$ $P_{tot} \leq 650 mW.$ $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ C.$ $\theta_a = -25 \text{ až } +85^\circ C.$ $\theta_{sig} = -55 \text{ až } +125^\circ C.$ $\theta_L \leq 260^\circ C.$ $t_K \leq 30 s.$
Charakteristické údaje	
Platí při $\pm U_{CC} = \pm 15 V$, $R_L = 5 k\Omega$ vůči vývodu 07, $\theta_a = 25^\circ C$, není-li uvedeno jinak.	
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S \leq 200 \Omega$ Vstupní proudová nesymetrie Vstupní klidový proud Vstupní odpor Napěťové zesílení s velkým signálem $U_O = \pm 10 V$ Kladné výstupní napětí vrcholové Záporné výstupní napětí vrcholové Výstupní odpor $f = 1 \text{ kHz}$ Rozsah vstupního napětí Potlačení vlivu souhlasného signálu $R_S = 200 \Omega$, $U_I = +11,5 V \text{ až } -13,5 V$ Potlačení vlivu napájecího napětí na vstupní napěťovou nesymetrii $R_S = 200 \Omega$ Kladného napětí záporného napětí Příkon $U_O = 0 V$ Napájecí proud $U_O = 0 V$ Širokopásmový šumový činitel $R_S = 10 k\Omega$, $BW = 10 \text{ Hz až } 10 \text{ kHz}$	$U_{IO} = \text{jmen. } 1,0; \leq 6,0 mV.$ $I_{IO} = \text{jmen. } 50; \leq 750 nA.$ $I_B = \text{jmen. } 300; \leq 1500 nA.$ $R_I = \text{jmen. } 150; \geq 50 k\Omega.$ $A_v = \text{jmen. } 50\,000; \geq 15\,000.$ $+U_{OM} = \text{jmen. } 13; \geq +12 V.$ $-U_{OM} = \text{jmen. } -15; \geq -14 V.$ $R_O = \text{jmen. } 5,0 k\Omega.$ $U_I = -13 \text{ až } +11 V.$ $CMR = \text{jmen. } 90; \geq 70 \text{ dB.}$ $SVR+ = \text{jmen. } 50; \leq 350 \mu V/V.$ $SVR- = \text{jmen. } 50; \leq 200 \mu V/V.$ $P = \text{jmen. } 180; \leq 330 mW.$ $I_{CC} = \text{jmen. } 9,0; \leq 14 mA.$ $N_{BW} = \text{jmen. } 2,5 \text{ dB.}$
Dynamické vlastnosti	
otevřená smyčka, $U_I = \pm 20 mV$	
Doba zpoždění při zapnutí ³⁾ při vypnutí ³⁾ Doba přeběhu (jednotkové zesílení) $C_1 = 20 nF$, $C_2 = 10 pF$, $R_1 = 33 \Omega$ ⁴⁾ Přeslech mezi kanály $R_S \leq 1 k\Omega$, $f = 10 \text{ kHz}$ ⁵⁾	$t_{ON} = \text{jmen. } 0,2 \mu s.$ $t_{OFF} = \text{jmen. } 0,3 \mu s.$ $\text{jmen. } 2,0 V/\mu s.$ $\text{jmen. } 140 \text{ dB.}$
Platí při $\pm U_{CC} = \pm 4 V$, $\theta_a = 25^\circ C$, $R_L = 10 k\Omega$ vůči vývodu 07:	
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S \leq 200 \Omega$ Vstupní proudová nesymetrie Vstupní klidový proud Napájecí proud $U_O = 0 V$ Příkon $U_O = 0 V$ Napěťové zesílení při velkém signálu $U_O = \pm 2 V$ Kladné výstupní napětí vrcholové Záporné výstupní napětí vrcholové	$U_{IO} = \text{jmen. } 1,0; \leq 6,0 mV.$ $I_{IO} = \text{jmen. } 50; \leq 600 nA.$ $I_B = \text{jmen. } 300; \leq 1500 nA.$ $I_{CC} = \text{jmen. } 2,5 mA.$ $P = \text{jmen. } 20 mW.$ $A_v = \text{jmen. } 60\,000; \geq 15\,000.$ $+U_{OM} = \text{jmen. } 2,8; \geq +2,5 V.$ $-U_{OM} = \text{jmen. } -4,0; \geq -3,6 V.$
Platí při $\theta_a = 0 \text{ až } +70^\circ C$, $\pm U_{CC} = \pm 15 V$, $R_L = 5 k\Omega$ vůči vývodu 07	
Napěťové zesílení s velkým signálem $U_O = \pm 10 V$, $\theta_a = +70^\circ C$ $U_O = \pm 10 V$, $\theta_a = 0^\circ C$ Kladné výstupní napětí vrcholové Záporné výstupní napětí vrcholové Vstupní napěťová nesymetrie $R_S = 200 \Omega$ Vstupní proudová nesymetrie Vstupní klidový proud Teplotní závislost vstupní napěťové nesymetrie $R_S = 200 \Omega$, $\theta_a = +25 \text{ až } +70^\circ C$ $R_S = 200 \Omega$, $\theta_a = 0 \text{ až } +25^\circ C$	$A_v = \text{jmen. } 40\,000; \geq 8000,$ $A_v = \text{jmen. } 50\,000; \geq 15\,000.$ $+U_{OM} = \text{jmen. } +13; \geq +12 V.$ $-U_{OM} = \text{jmen. } -15; \geq -14 V.$ $U_{IO} = \text{jmen. } 1,0; \leq 9,0 mV.$ $I_{IO} = \text{jmen. } 50; \leq 1500 nA.$ $I_B = \text{jmen. } 300; \leq 3000 nA.$ $D_{UIO} = \text{jmen. } 3,0 \mu V/K,$ $D_{UIO} = \text{jmen. } 3,0 \mu V/K.$

Teplotní závislost vstupní proudové nesymetrie $\theta_a = +25$ až $+70$ °C $\theta_a = 0$ až $+25$ °C Teplotní závislost vstupního klidového proudu $\theta_a = 0$ až $+70$ °C		$D_{IIO} = \text{jmen. } 0,5 \text{ nA/K,}$ $D_{IIO} = \text{jmen. } 2,0 \text{ nA/K.}$ $D_{IIB} = \text{jmen. } 4,0 \text{ nA/K.}$
Platí při $\theta_a = 0$ až $+70$ °C, $\pm U_{CC} = \pm 4$ V, $R_L = 10$ k Ω vůči vývodu 07:		
Vstupní napěťová nesymetrie $R_S = 200$ Ω Vstupní proudová nesymetrie Napěťové zesílení při velkém signálu $U_O = \pm 2$ V, $\theta_a = +70$ °C $U_O = \pm 2$ V, $\theta_a = 0$ °C Kladné výstupní napětí vrcholové Záporné výstupní napětí vrcholové		$U_{IO} = \text{jmen. } 1,5 \leq 9,0$ mV. $I_O = \text{jmen. } 50; \leq 1000$ nA. $A_v \geq 8000.$ $A_v \geq 15\,000.$ $+U_{OM} = \text{jmen. } +2,8; \geq +2,5$ V. $-U_{OM} = \text{jmen. } -4,0; \geq -3,6$ V.

Obr. 139. Praktické zapojení stereofonního nf předzesilovače s operačním zesilovačem $\mu A739PC$. Zisk zesilovače 40 dB, přeslech mezi kanály 80 dB při kmitočtu 1 kHz

Praktické zapojení stereofonního nízkofrekvenčního zesilovače s $\mu A739PC$, $\mu A739PCE$ je na obr. 139. Zesilovač má zesílení 40 na kmitočtu 1 kHz s kompenzací podle normy RIAA. Vstup začíná být přetížen při efektivním vstupním napětí 80 mV. Šumová úroveň zesilovače, vztažená ke vstupu, je 2 μ V. Poměr signálu k šumu 74 dB platí při vstupním napětí do 10 mV.

Integrovaný obvod $\mu A739PCE$ je speciální provedení operačního zesilovače $\mu A739PC$, který je určen pro použití v rozšířeném rozsahu provozních teplot okolí od -25 do $+85$ °C. Elektrické vlastnosti tohoto obvodu jsou shodné se základním provedením operačního zesilovače $\mu A739PC$, oba obvody jsou proto s výjimkou dovolených teplot zaměnitelné.

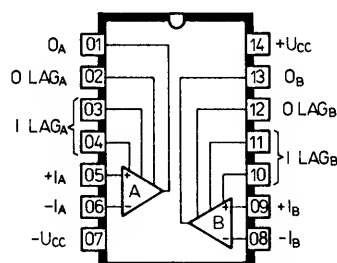
Dvojitý nf operační zesilovač $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$

Integrovaný monolitický operační zesilovač $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$ maďarského výrobce MEV (Tungsram) sdružuje na společné křemíkové podložce dva plně identické operační zesilovače s velkým ziskem, které mají společné napájení. Zesilovače jsou třístupňové, jejich výstupní stupeň je osazen tranzistorem p-n-p s otevřeným kolektorovým výstupem, který pracuje ve třídě A. Tato úprava koncových stupňů obou zesilovačů umožňuje zapojit zátěž podle potřeby konstruktéra. Velmi dobré vlastnosti zesilovačů umožňují jejich použití od stejnosměrných zapojení až po vf zesilovače s kmitočtem do 10 MHz. Navíc se mohou oba výstupy využít v zapojení wired-OR jako dvojitý komparátor, popříp. mohou zastávat diodové funkce v usměrňujících zapojeních s nízkou úrovní

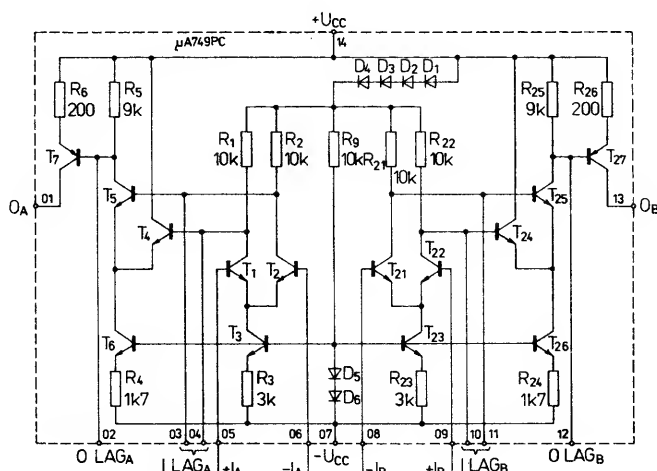
napětí, např. jako zesilovače absolutní úrovně nebo jako vrcholové detektory.

Operační zesilovač $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$ se napájí symetrickým nebo nesymetrickým napájecím napětím od ± 4 do ± 18 V. Celkový odběr napájecího proudu zesilovače je při napájení napětím ± 15 V průměrně 9 mA, při napětí ± 4 V pouze 2,5 mA. Při těchto ekonomických podmínkách napájení je napěťové zesílení typicky 15 000 při zatěžovacím odporu 5 k Ω , popříp. 60 000 při odporu 10 k Ω a napětí ± 4 V. Konstrukce vnitřního zapojení zesilovače zaručuje velkou stabilitu napěťového zisku v širokém rozsahu dovolených napájecích napětí. Výstupy zesilovačů jsou chráněny proti zkratům. Zesilovače jsou odolné proti zablokování. Elektrické údaje zesilovačů jsou v tab. 16.

Operační zesilovač $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$ jsou v plastovém pouzdru DIL-14 s 2 \times sedmi vývody ve dvou řadách. Zapojení vývodů je stejné se zapojením zesilovače $\mu A739PC$ podle obr. 141. Rovněž

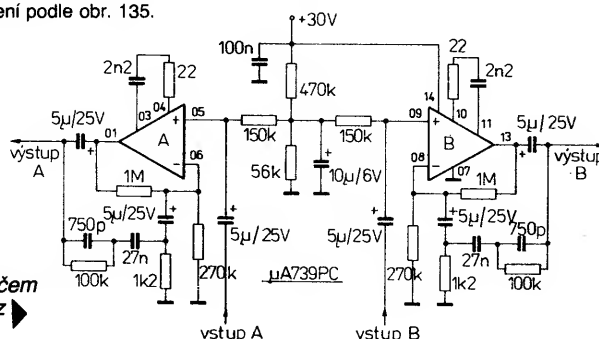


Obr. 141. Zapojení dvojitého operačního zesilovače $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$



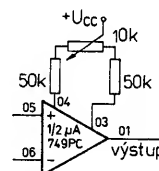
Obr. 140. Vnitřní elektrické zapojení dvojitého operačního zesilovače $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$

1. Použije-li se napájecí napětí menší než ± 15 V, musí se zmenšit mezní vstupní napětí na velikost použitého napájecího napětí.
2. Zkrat na výstupu se může projevit proti zemi nebo napájecímu napětí kladnému či zápornému.
3. Viz definici impulsních vlastností na obr. 133.
4. V zapojení podle obr. 134.
5. V zapojení podle obr. 135.



funkce vývodů je stejná. Hlavní rozdíl spočívá v odlišném zapojení koncových tranzistorůch výstupních stupňů. Rozdílná úprava je patrná z vnitřního elektrického zapojení, které je na obr. 140.

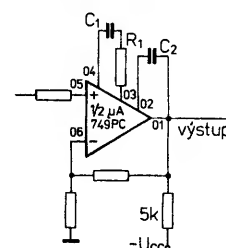
Vstupní napěťová nesymetrie zesilovačů je pouze 1,0 mV. Přesto se doporučuje vyvažovat vstupní nesymetrii vnějším zapojením podle obr. 142, kdy se vývody LAG připojují



Obr. 142. Vnější zapojení k nulování vstupní nesymetrie operačního zesilovače $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$

přes symetizační potenciometr ke kladnému napájecímu napětí.

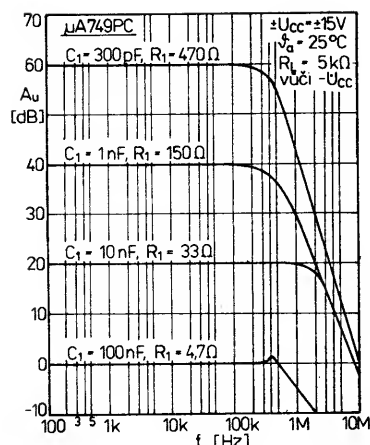
Oba zesilovací systémy nejsou vybaveny vnitřní kmitočtovou kompenzací. Zesilovače se kompenzují vnějšími součástkami R_1 , C_1 a C_2 v zapojení podle obr. 143. Odpor rezis-



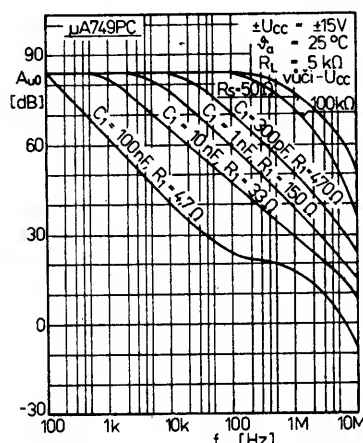
Obr. 143. Zapojení vnější kmitočtové kompenzace operačního zesilovače $\mu A749PC$, $\mu A749PCE$

toru a kapacita kondenzátorů jsou závislé na požadovaných provozních podmínkách. Při provozu zesilovače s uzavřenou smyčkou se mohou zjistit příslušné součástky z diagramu na obr. 144 pro žádaný napěťový zisk. Kompenzační součástky pro provoz zesilovače s otevřenou smyčkou jsou uvedeny na obr. 145. V obou diagramech je současně uvedena závislost zesílení na provozním kmitočtu zesilovače. Kompenzační kondenzátor C_2 na výstupu zesilovače se používá jen v nezbytných případech.

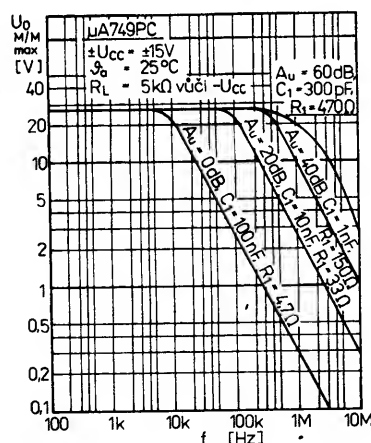
Z obr. 146 je patrná závislost výstupního mezivrcholového napětí na provozním kmitočtu kmitočtové kompenzovaného zesilo-



Obr. 144. Závislost zesílení uzavřené smyčky operačního zesilovače $\mu A749PC$ na provozním kmitočtu s různými kompenzačními rezistory a kondenzátory



Obr. 145. Závislost zesílení otevřené smyčky operačního zesilovače $\mu A749PC$ na provozním kmitočtu s různými kompenzačními rezistory a kondenzátory



Obr. 146. Maximální mezivrcholové výstupní napětí operačního zesilovače $\mu A749PC$ v závislosti na provozním kmitočtu a kompenzačních součástkách

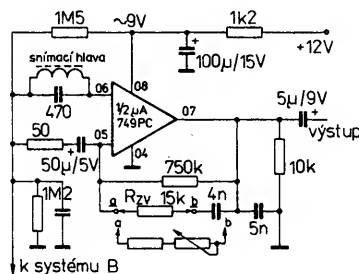
vače s různě velkým zesílením. Diagram potvrzuje nízkofrekvenční vlastnosti popisovaného zesilovače, neboť výstupní napětí (okolo 28 V) při zisku 60 dB zůstává kon-

stantní do kmitočtu okolo 200 kHz, pak se prudce zmenšuje. Při zisku 20 dB se začíná výstupní napětí zmenšovat již od kmitočtu 50 kHz.

Přestože oba zesilovací systémy jsou vyrobeny na společné křemíkové podložce, je jejich vzájemná vazba velmi malá. Oddělení kanálů je na kmitočtu 100 Hz asi 100 dB, s provozním kmitočtem se dále zvětšuje na maximum 140 dB na 10 kHz, pak se zmenšuje na 120 dB na kmitočtu 100 kHz.

Výrobce sice šumové vlastnosti nezaručuje, avšak z informativních závislostí zesilovače je možné zjistit vstupní šumové napětí 5 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ při signálu 100 kHz. Pouze na velmi nízkém kmitočtu 10 Hz může dosáhnout šumové napětí 15 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (efektivní hodnoty). Vstupní efektivní šumový proud z počáteční velikosti 10 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ na kmitočtu 10 Hz se lineárně zmenšuje s kmitočtem na 0,5 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ na kmitočtu 30 kHz. Uvedené šumové vlastnosti, i když jsou jen informativní, dobře charakterizují operační zesilovače $\mu A749PC$ pro použití jako nízkofrekvenční předzesilovač.

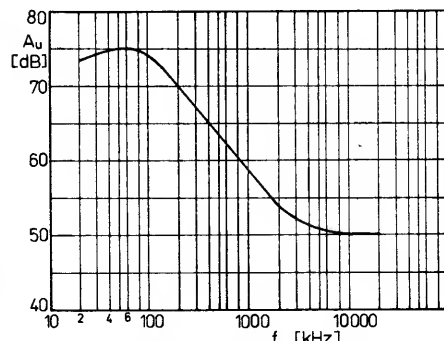
Výborných vlastností zesilovače $\mu A740PC$ bylo využito při návrhu nízkofrekvenčního zesilovače pro stereofonní magnetofony. Typické zapojení jednoho kanálu zesilovače je na obr. 147. Napěťový zisk zesi-



Obr. 147. Doporučené zapojení nf stereofonního předzesilovače s $\mu A749PC$ s napěťovým ziskem 60 dB pro magnetofony

lovače, měřený na kmitočtu 1 kHz je asi 60 dB, rozkmit výstupního efektivního napětí je 2,8 V. Příkon zesilovače je přitom pouze 30 mW. Malý příkon dovoluje používat zesilovače v přenosných přístrojích s bateriovým napájením. Typický průběh napěťového zisku popsaného zesilovače v závislosti na provozním kmitočtu je na obr. 148. Zpětnou vazbou předzesilovače se může do jisté míry kompenzovat zesilovaný signál. K tomuto účelu se nahradí rezistor R_{zv} (15 k Ω) vhodným zpětnovazebním členem, složeným z pevného rezistoru R a potenciometru P .

Mimo základní provedení zesilovače



Obr. 148. Průběh napěťového zisku nf předzesilovače z obr. 147 v závislosti na provozním kmitočtu

$\mu A749PC$ vyrábí MEV operační zesilovače $\mu A749PCE$, které jsou určeny pro provoz v rozšířeném rozsahu provozních teplot od -25 do +85 $^{\circ}\text{C}$. Jejich elektrické vlastnosti jsou shodné se základním typem.

Přesný operační zesilovač $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$

Monolitický přesný zesilovač $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ maďarské výroby MEV (Tungsram) se vyznačuje malou vstupní proudovou nesymetrií a malým klidovým proudem, což jsou základní požadavky na systémovou přesnost. Zesilovače jsou proto vhodné pro dlouhodobé integrátory, vzorkovací a přídržná zapojení a sumační zesilovače s velkou impedancí zdroje. Ačkoli se zesilovač vyznačuje extrémně malým vstupním klidovým proudem, může se na jeho vstup přivádět diferenční napětí až do mezí velikosti ± 30 V. Vnitřní konstrukce využívá izotepelného rozložení součástek vnitřního zapojení a speciálního elektronického návrhu k udržení konstantních vlastností systému při změnách provozní teploty a výstupní zátěže.

Vnitřní elektrické zapojení operačního zesilovače $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ je na obr. 149. Zesilovače se napájejí symetrickým napětím ± 5 až ± 15 V. Při napájecím napětí ± 15 V je napájecí proud zesilovače pouze 1,9 mA, maximálně 2,8 mA. Jeho napěťové zesílení je typicky 250 000, minimální zaručovaná velikost je 25 000. Elektrické vlastnosti zesilovače zůstávají konstantní v širokém rozsahu dovolených provozních teplot právě v důsledku malého provozního napájecího proudu, který tepelně nepřetěžuje systém. Zesilovač se dále vyznačuje velkým rozsahem vstupního napětí až do ± 15 V, ochranou před zablokováním, ochranou proti zkratu na výstupu a jednoduchou vnější kmitočtovou kompenzací. Elektrické údaje obou provedení popisovaných operačních zesilovačů jsou v tab. 17.

Zesilovač $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ je v plastovém pouzdru DIL-14 s 2 \times sedmi vývody ve dvou řadách. Zapojení vývodů je na obr. 150. Funkce vývodů: -I - invertující vstup, +I - neinvertující vstup, NUL - vývody pro připojení vnějších součástek pro vyvážení vstupní nesymetrie, KOMP f - vývody pro připojení vnějších součástek kmitočtové kompenzace, O - výstup, $+U_{CC}$ - připoj kladného napájecího napětí, $-U_{CC}$ - připoj záporného napájecího napětí, NC - volné (nepoužité) vývody.

Doporučené zapojení pro vyvážení vstupní nesymetrie je na obr. 151a a 151b. První ze zapojení využívá potenciometru s odporem 5 M Ω , který nebývá běžně po ruce zvláště v miniaturním provedení. Upravené zapojení na obr. 151b používá potenciometr 25 k Ω , který je připojen mezi záporný pól napájecího napětí a zem. V obou zapojeních jsou vyvažovací součástky připojeny mezi vývody 03 a 09 integrovaného obvodu.

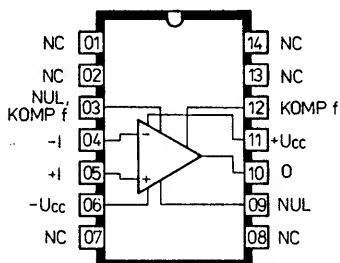
Ke kmitočtové kompenzaci se používá vnější kondenzátor C_C s kapacitou od 1 pF do 30 pF. Připojuje se mezi vývody 03 a 12. Kapacita kompenzačního kondenzátoru přímo ovlivňuje velikost napěťového zesílení a jeho průběh v závislosti na provozním kmitočtu. S větší použitou kapacitou se zesílení zmenšuje se zvyšujícím se provozním kmitočtem. Skutečný průběh napěťového zesílení otevřené smyčky zesilovače v závislosti na kmitočtu je na obr. 152 pro zisk 100, 1000 a 10 000 dB. Na obr. 153 je grafická závislost napěťového zesílení zesilovače s uzavřenou smyčkou v závislosti na kmitočtu. Použitý kompenzační kondenzátor (má kapacitu 1, 2, 5 a 30 pF) přímo ovlivňuje napěťový zisk, který je od 60 dB do 0 dB.

Jak ovlivňuje kompenzační kapacita napěťový zisk zesilovače s uzavřenou smyčkou je zřejmé z obr. 154 a to při překmitu 20 % a bez překmitu.

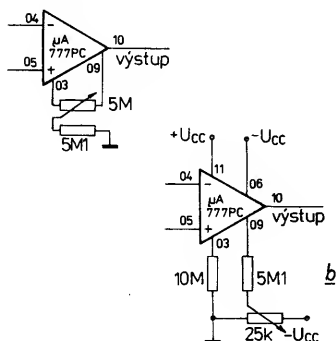
Dokonalý návrh vnitřního zapojení má přímý vliv na konstantní průběh vstupního odporu, vstupní kapacity a výstupního odporu zesilovače v kmitočtovém rozsahu od 100 Hz do 100 kHz.

Tab. 17. Elektrické údaje přesného operačního zesilovače $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$

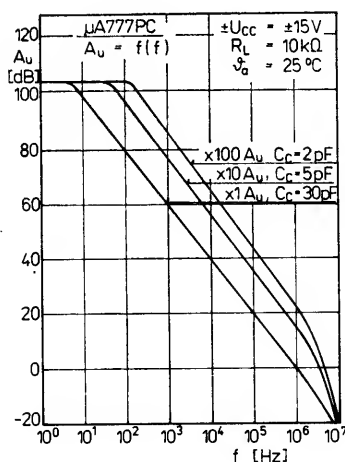
Mezní údaje	
Napájecí napětí	$\pm U_{CC} \leq \pm 5 \text{ až } \pm 18 \text{ V.}$
Vstupní napětí ¹⁾	$U_i \leq \pm 15 \text{ V.}$
Vstupní napětí diferenční	$U_{iD} \leq \pm 30 \text{ V.}$
Ztrátový výkon celkový	$P_{tot} \leq 670 \text{ mW.}$
$\vartheta_a = 70^\circ \text{C}$	
Rozsah provozních teplot okolí	$\vartheta_a = 0 \text{ až } +70^\circ \text{C,}$
$\mu A777PC$	$\vartheta_a = -25 \text{ až } +85^\circ \text{C.}$
$\mu A777PCE$	$\vartheta_{sig} = -65 \text{ až } +150^\circ \text{C.}$
Rozsah skladovacích teplot	
Teplota vývodů při pájení	$\vartheta_L \leq 260^\circ \text{C.}$
$t \leq 10 \text{ s}$	$k = \text{neomezen}$
Zkrat na výstupu ²⁾	
Charakteristické údaje	
Platí při $\vartheta_a = 25^\circ \text{C, } \pm U_{CC} = \pm 15 \text{ V, } C_C = 30 \text{ pF,}$ není-li uvedeno jinak.	
Vstupní napěťová nesymetrie	$U_{iO} = \text{jmen. } 0,7; \leq 5,0 \text{ mV.}$
$R_S \leq 50 \text{ k}\Omega$	
Vstupní proudová nesymetrie	$I_{iO} = \text{jmen. } 0,7; \leq 20 \text{ nA.}$
Vstupní klidový proud	$I_{iB} = \text{jmen. } 25; \leq 100 \text{ nA.}$
Vstupní odpor	$R_i = \text{jmen. } 2,0; \geq 1,0 \text{ M}\Omega.$
Vstupní kapacita	$C_i = \text{jmen. } 3,0 \text{ pF.}$
Rozsah nastavení vstupní napěťové nesymetrie	$\Delta U_{iO} = \text{jmen. } \pm 25 \text{ mV.}$
Napěťové zesílení při velkém signálu	$A_u = \text{jmen. } 250\,000; \geq 25\,000.$
$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega, U_O = \pm 10 \text{ V}$	$R_O = \text{jmen. } 100 \Omega.$
Výstupní odpor	$I_{OS} = \text{jmen. } \pm 25 \text{ mA.}$
Výstupní proud zkratový	$I_{CC} = \text{jmen. } 1,9; \leq 2,8 \text{ mA.}$
Napájecí proud	$P = \text{jmen. } 60; \leq 85 \text{ mW.}$
Příkon	
Dynamické vlastnosti jako napěťový sledovač	
$U_i = 20 \text{ mV, } C_C = 30 \text{ pF, } C_L \leq 100 \text{ pF, } R_L = 2 \text{ k}\Omega, A_u = 1$	
Doba náběhu impulsu	$t_r = \text{jmen. } 0,3 \mu\text{s.}$
Překmit	$\text{jmen. } 5,0 \text{ \%.}$
$R_L = 2 \text{ k}\Omega, A_u = 1:$	
Doba přeběhu	$\text{jmen. } 0,5 \text{ V}/\mu\text{s.}$
$U_i = 20 \text{ mV, } C_C = 3,5 \text{ pF, } C_L \leq 100 \text{ pF,}$	
$R_L = 2 \text{ k}\Omega, A_u = 10:$	
Doba náběhu impulsu	$t_r = \text{jmen. } 0,2 \mu\text{s.}$
Překmit	$\text{jmen. } 5,0 \text{ \%.}$
$R_L \leq 2 \text{ k}\Omega, C_C = 3,5 \text{ pF, } A_u = 10:$	
Doba přeběhu	$\text{jmen. } 5,5 \text{ V}/\mu\text{s.}$



Obr. 150. Zapojení vývodů operačního zesilovače $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$;



Obr. 151. Doporučené zapojení k nulování nesymetrie operačních zesilovačů $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$; a – vůči „zemi“ potenciometrem $5,1 \text{ M}\Omega$, b – potenciometrem $25 \text{ k}\Omega$ vůči $-U_{CC}$ a zemi



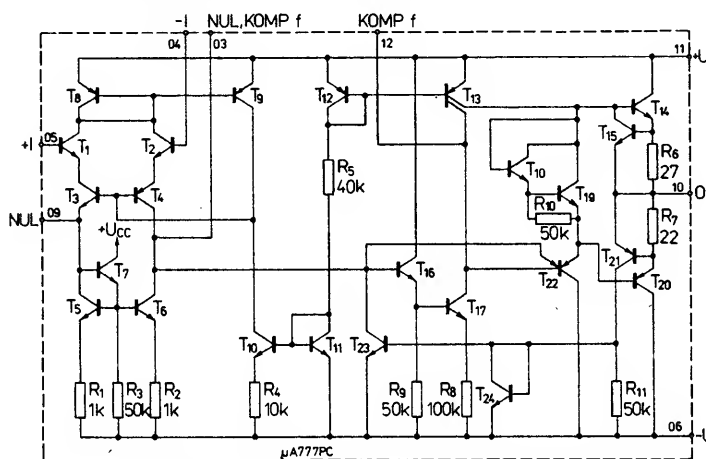
Obr. 152. Závislost napěťového zisku otevřené smyčky operačního zesilovače $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ na provozním kmitočtu při různých kompenzačních kondenzátorech

Výrobní podnik MEV vyrábí mimo základní provedení zesilovače $\mu A777PC$ rovněž

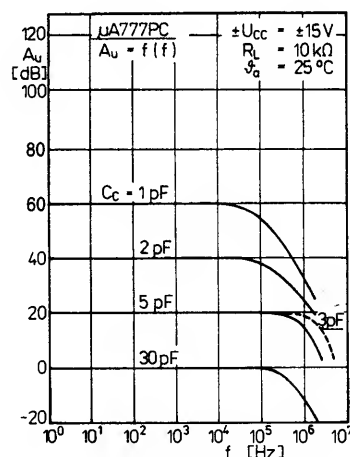
Platí při $\vartheta_a = 0 \text{ až } +70^\circ \text{C}$

Vstupní napěťová nesymetrie	$U_{iO} = 0,8; \leq 5,0 \text{ mV.}$
$R_S \leq 50 \text{ k}\Omega$	
Teplotní závislost vstupní napěťové nesymetrie	$D_{U_{iO}} = \text{jmen. } 4,0; \leq 30 \mu\text{V/K.}$
$R_S \leq 50 \text{ k}\Omega$	$I_{iO} = 40 \text{ nA.}$
Vstupní proudová nesymetrie	
Teplotní závislost vstupní proudové nesymetrie	$D_{I_{iO}} = \text{jmen. } 0,01; \leq 0,3 \text{ nA/K,}$
$\vartheta_a = +25 \text{ až } +70^\circ \text{C}$	$D_{I_{iO}} = \text{jmen. } 0,02; \leq 0,6 \text{ nA/K.}$
$\vartheta_a = 0 \text{ až } +25^\circ \text{C}$	$I_{iB} \leq 200 \text{ nA.}$
Vstupní klidový proud	$U_i = \text{jmen. } \pm 13; \geq \pm 12 \text{ V.}$
Rozsah vstupního napětí	
Potlačení souhlasného napětí	$\text{CMR} = \text{jmen. } 95; \geq 70 \text{ dB.}$
$R_S \leq 50 \text{ k}\Omega$	
Potlačení vlivu napájecího napětí na vstupní napěťovou nesymetrii	$\text{SVR} = \text{jmen. } 15; \leq 150 \mu\text{V/V.}$
Napěťové zesílení při velkém signálu	$A_u \geq 15\,000.$
$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega, U_O = \pm 10 \text{ V}$	
Rozkmit výstupního napětí	$U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } \pm 14; \geq \pm 12 \text{ V.}$
$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$	$U_{O \text{ MM}} = \text{jmen. } \pm 13; \geq \pm 10 \text{ V.}$
$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	$P = \text{jmen. } 60; \leq 100 \text{ mW.}$
Příkon	

1. Použije-li se napájecí napětí menší než $\pm 15 \text{ V}$, musí se zmenšit mezní vstupní napětí na velikost použitého napájecího napětí
2. Zkrat na výstupu se může projevit proti zemi nebo napájecímu napětí kladnému či zápornému.

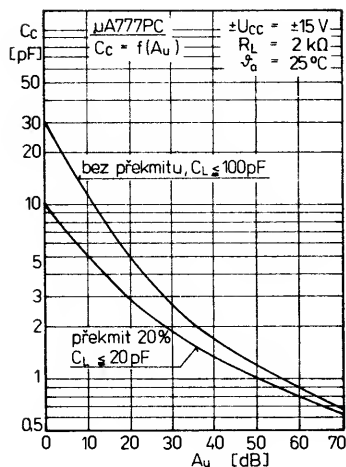


Obr. 149. Vnitřní elektrické zapojení operačního zesilovače $\mu A777PC$, $\mu A7$.



Obr. 153. Napěťový zisk uzavřené smyčky operačního zesilovače $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ v závislosti na provozním kmitočtu s kompenzačními kondenzátory 1, 2, 3, 5 a 30 pF

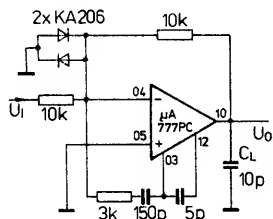
provedení $\mu A777PCE$, u něhož je rozšířen rozsah provozních teplot okolí ($-25 \text{ až } +85^\circ \text{C}$). Tyto zesilovače jsou vhodné pro



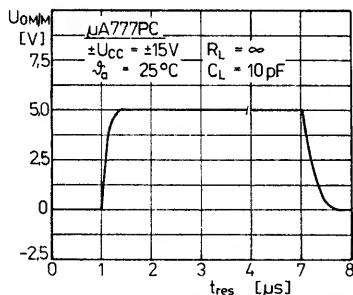
Obr. 154. Napěťový zisk uzavřené smyčky operačního zesilovače $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ v závislosti na kapacitě kompenzačního kondenzátoru při překmitu 20 M a bez překmitu

přístroje průmyslové elektroniky. Všechny dále uvedené příklady použití operačního zesilovače $\mu A777PC$ platí rovněž pro zesilovače $\mu A777PCE$.

Operační zesilovač $\mu A777PC$ v impulsním provozu s velkým signálem se doporučuje kompenzovat v zapojení podle obr. 155. Průběh odezvy výstupního signálu je na obr. 156.



Obr. 155. Kompenzační zapojení operačního zesilovače $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ v impulsním provozu s velkým signálem

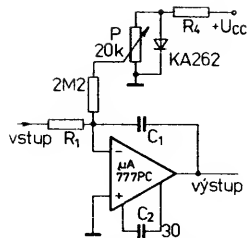


Obr. 156. Průběh odezvy výstupního napětí $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ v zapojení podle obr. 155

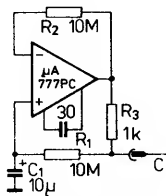
Na obr. 157 je doporučené jednoduché zapojení dlouhodobého integrátoru, který je vybaven kompenzací klidového předpětí OZ. Potenciometr P slouží k nastavení minimální závislosti integrátoru. Paralelně k potenciometru se připojuje kvalitní křemíková dioda se závěrným napětím do 100 V (např. KA262 apod.).

Zapojení kapacitní násobičky s integrovaným obvodem $\mu A777PC$ je navrženo na obr. 158. Výsledná kapacita C je dána vztahem $C = (R_1/R_3)C_1$ za podmínky, že odpor zdroje R_5 bude roven R_3 .

Návrh jednoduchého vzorkovacího a při-

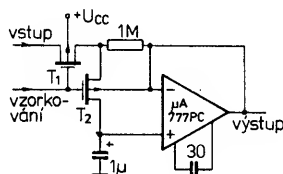


Obr. 157. Zapojení dlouhodobého integrátoru s $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$, který je vybaven kompenzací klidového proudu



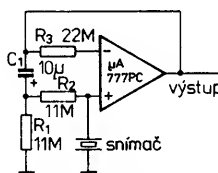
Obr. 158. Kapacitní násobička s $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$

držného zapojení s operačním zesilovačem $\mu A777PC$ je na obr. 159. Zesilovač pracuje se dvěma polem řízenými tranzistory. Vzorkovací signál se přivádí na spojené řídicí elektrody tranzistorů T_1 a T_2 .



Obr. 159. Vzorkovací a přidržné zapojení s $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$

Zapojení snímacího zesilovače s integrovaným obvodem $\mu A777PC$, který pracuje ve spojení s kapacitním snímačem, je na obr. 160. Kapacitní snímač se připojuje mezi neinvertující vstup operačního zesilovače a zem. Nejnižší kmitočet zesilovače je dán součinem R_1C_1 .



Obr. 160. Snímací zesilovač s $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ s kapacitním snímačem na vstupu

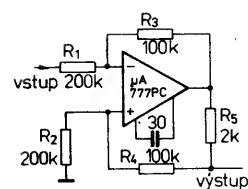
Na obr. 161, je zapojení bilaterálního (dvousměrného) proudového zdroje s integrovaným obvodem $\mu A777PC$. Výstupní proud je dán vztahem

$$I_0 = (R_3 U_1) / (R_1 R_5)$$

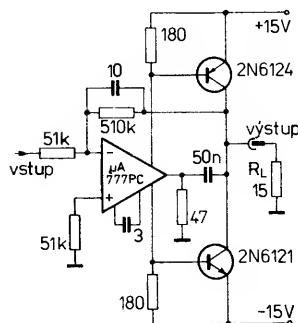
za podmínky, že $R_1 = R_2$ a $R_3 = R_4 + R_5$.

Zajímavé zapojení výkonového zesilovače s rychlým přeběhem, který pracuje s operačním zesilovačem $\mu A777PC$ jako řídicím prvkem a upravenými výstupy se dvěma výkonovými tranzistory p-n-p a n-p-n (např. KD136, KD135, popř. KD616, KD606) s větším ztrátovým výkonem do 40 až 60 W je na obr. 162. Výkonový zesilovač s definovatelným rychlým přeběhem se používá v průmyslové elektronice a technice zpracování dat.

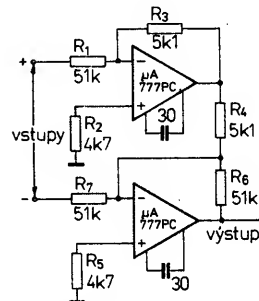
Přístrojový operační zesilovač se dvěma integrovanými obvody $\mu A777PC$, který se vyznačuje velkým rozsahem souhlasného vstupního napětí, je na obr. 163. Napěťové zesílení zesilovače je dáno poměrem rezis-



Obr. 161. Dvousměrný proudový zdroj s $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$



Obr. 162. Výkonový zesilovač s rychlým přeběhem, osazený operačním zesilovačem $\mu A777PC$, $\mu A777PCE$ a výkonovými tranzistory p-n-p a n-p-n na výstupu



Obr. 163. Přístrojový operační zesilovač se dvěma integrovanými obvody $\mu A777PC$ s rozšířeným rozsahem souhlasného vstupního napětí

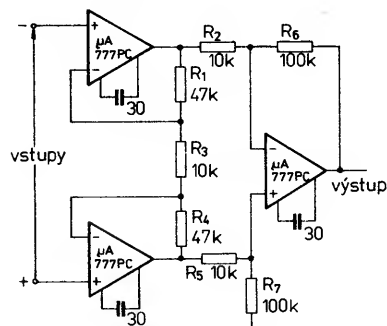
torů R_7/R_6 . Nejlepší potlačení vlivu souhlasného signálu se dosáhne při splnění podmínky

$$R_1/R_7 = R_3/R_4.$$

Přitom se musí dodržet další podmínka

$$R_3 = R_4 \text{ a } R_1 = R_6 = 10R_3.$$

Další zajímavé zapojení přístrojového operačního zesilovače se třemi obvody $\mu A777PC$ podle obr. 164 se vyznačuje vel-

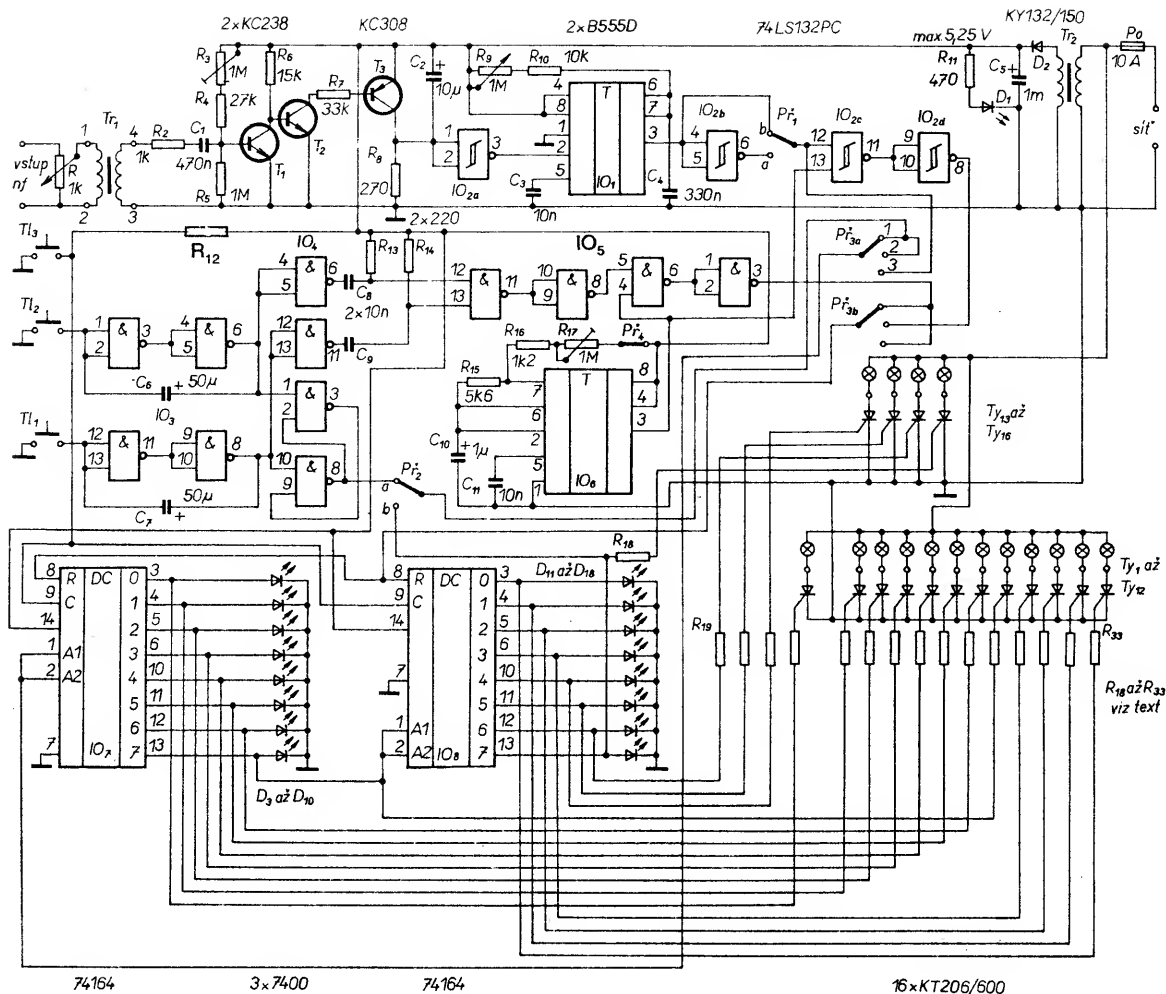


Obr. 164. Přístrojový operační zesilovač se třemi integrovanými obvody $\mu A777PC$ a velkým potlačením vlivu souhlasného signálu

kým potlačením vlivu souhlasného signálu. Napěťové zesílení zesilovače určuje vztah

$$(R_6/R_2) (1 + 2R_1/R_3)$$

za podmínky $R_2/R_5 = R_6/R_7$ (pro nejlepší CMR), dále $R_1 = R_4$ a $R_2 = R_5$.



Obr. 1. Schéma zapojení

Objednávka předplacení tisku — výpis *)

Oznámení o zrušení předplatitelského vztahu — výpis *)

Vyplňuje pošta	
Doruč. okrese	Dor. tisku

Název deníku — časopisu	Počet objed. výtisků	Číslo - datum zahájení ukončení dodávky	Vyplňuje administrace PNS		
			Katalogové číslo	Počet	Čiinnost
Amatérské radio řada B					

Nežádám - žádám *) o zkrácení čtvrtletního předplatitelského období při předplacení deníků na měsíc (jen občané). Předplacené výtisky dodávejte na adresu:

Příjmení a jméno (název organizace)

Ulice, číslo domu

Obec

Dodávací pošta

Spoj. čís. předplatitele - platce soustřed. inkasa

Plátce předplatného (vyplňují jen organizace)

Označení: úplný název a IČO

Adresa

Dodávací pošta

Objednávku vyřizuje: čitelné příjmení, telefon

Název a sídlo provozního ústavu

Číslo účtu

*) Nehodící se škrtněte!

Datum:

15-522 I

Podpis předplatitele (u organizace i otisk razítka) 23 7 82553 R

16kanálové běžící světlo

Vladimír Němec

V AR B5/88 bylo zveřejněno zapojení tzv. běžícího světla. Vzhledem k tomu, že jsme obdrželi značné množství různých písemných dotazů na tuto konstrukci a žádostí o náčrty desky s plošnými spoji, dohodli jsme se s redakcí AR, že se k této konstrukci ještě jednou na stránkách AR řady B vrátíme podrobnějším popisem a konstrukčními podklady – což tímto činíme. Zapojení programovatelného běžícího světla je na obr. 1 na str. 115, deska s plošnými spoji je na obr. 2.

Popis funkce

Zapojení obsahuje celkem osm integrovaných obvodů, z nichž IO₁ pracuje jako časovací obvod měnící rychlost posuvu světla, IO₂ je ve funkci prahového spínače, IO₃, IO₄, IO₅, IO₇ a IO₈ slouží k programování jednotlivých kanálů a IO₆ k řízení rychlosti světla. Na zařízení je možné naprogramovat následující způsoby řízení (módy činnosti): 16kanálové běžící světlo neřízené hudbou, běžící světlo řízené hudbou, svit žárovek programovaný hudbou.

Použije-li se zařízení jako běžné 16kanálové světlo, je přepínač Př₃ v poloze 1, přepínač Př₂ v poloze a a přepínač Př₄ je sepnutý. Žárovky nesmí svítit, pokud svítí, krátkodobě stiskneme tlačítko Tl₃. Dále pak můžeme tlačítky Tl₁ a Tl₂ libovolně naprogramovat běžící světlo. Stisknutím Tl₁ se požadovaná žárovka rozsvítí a po stisknutí Tl₂ zůstává následující žárovka (kanál) zhasnutá. Celý program se posouvá zleva do prava. Je-li naprogramováno všech 16 kanálů a chceme-li běžící světlo nastartovat, přepneme nejdříve Př₂ do polohy b a potom

rozpojíme kontakty přepínače Př₄. Potenciometrem R₁₇ můžeme skokově měnit rychlost posuvu (běhu). Stávající program lze vymazat tlačítkem Tl₃ a pak lze přístroj naprogramovat znovu a jinak.

Budeme-li přístroj používat jako běžící světlo řízené hudbou, musí být přepínač Př₃ v poloze 2, trimr R₃ na levém dorazu, přepínač Př₁ v poloze b a Př₄ rozpojen. Tlačítka Tl₁ a Tl₂ budou při tomto použití přístroje mimo funkce. Běžící světlo lze programovat krátkodobým přepínáním přepínače Př₂ do polohy a. Po naprogramování musí pak být tento přepínač trvale v poloze b. Rezistorem R₁ lze nastavit citlivost zařízení (podle úrovně nf signálu na vstupu). Přepneme-li přepínač Př₁ do polohy a, je běžící světlo řízeno hudbou, rychlost „běhu“ lze nastavit potenciometrem R₉, případně i R₁₇.

Při třetím módu činnosti, žárovkách, jejichž svit je programován hudbou, je přepínač Př₃ v poloze 3, přepínač Př₂ v poloze b a přepínač Př₄ je rozpojen. Je-li přepínač Př₁ v poloze b, jsou hudbou klíčovány jen rozsvícené žárovky, v poloze a přepínače Př₁ pak jen žárovky zhasnuté.

Doporučení ke konstrukci

Pro Tr₁ a Tr₂ je z hlediska dodržení bezpečnostních předpisů nutné použít kostru se dvěma komorami. V jedné komoře je navinuto primární vinutí, v oddělené druhé pak vinutí sekundární. Izolační pevnost by měla být minimálně 4 kV. Je si třeba uvědomit, že při provozu je celé zařízení vodivě spojeno se sítí! Z toho důvodu je dále nutné aby deska s plošnými spoji byla umístěna ve skřínce z plastické hmoty, stejně tak je nutné, aby všechny ovládací prvky vyvedené na panel byly z plastické hmoty (knoflíky, přepínače).

Vývody nad IO₇ a IO₈ jsou určeny k připojení svítivých diod D₃ až D₁₈ – tuto část desky lze odříznout a umístit podle potřeby.

Budete-li z tyristorů odebírat proud větší než 0,8 A, je třeba tyristory umístit na chladič odpovídajících rozměrů, tj. v závislosti na odebíraném proudu. Vzhledem k tomu, že anoda tyristoru je na jeho „křídle“, je třeba tyristory připevnit k chladiči přes izolační podložku.

Anody tyristorů jsou vyvedeny na síťové zásuvky, popř. na svorkovnici typu „čokoláda“. Budete-li se snažit o co nejmenší rozměry skříňky, je nevhodnější použít jako síťové zásuvky šest trojzásuvek, popř. 18žilový síťový kabel.

Na předním panelu jsou umístěny všechny přepínače a tlačítka (aretovaná popř. nearetovaná tlačítka Isostat, páčkové přepínače, popř. zvonková tlačítka). Dále je na předním panelu 17 svítivých diod, z nichž jedna indikuje zapnutí zařízení a dalších 16 předvolený program, a konečně potenciometry R₁, R₉ a R₁₇. Primární vinutí Tr₁ nesmí být spojeno se sekundárním, protože by se tím mohl zničit zesilovač, připojený na nf vstup zařízení. Na vstup zařízení může být zesilovač připojen buď přes zdířky, nebo tříkolíkový konektor, jehož zem nesmí být spojena se zemí na desce s plošnými spoji.

VYPLŇUJE POŠTA před odesláním objednávky — odhlásky občana administraci PNS

jen na oznámení o zrušení předplatitelského vztahu	Předplatné, splatné v měsíci oznamovaného zrušení předplatitelského vztahu, *) — je zapláceno v předepsané výši Kčs — není dosud zapláceno — je zapláceno jen ve výši Kčs	
na objednávce i na oznámení o zrušení předplatitelského vztahu	Položka záznamu v soupisu	Potvrzení správnosti spojovacího čísla: Podpis pracovníka



Denní razítka

Maximální napětí na C_5 smí být 5,25 V, jinak je nutné použít stabilizátor napájecího napětí elektroniky.

Seznam součástek

Rezistory (TR 212, TR 151) a potenciometry

R_1	TP 280, 1 k Ω
R_2	1 k Ω
R_3	TP 009, 1 M Ω
R_4	27 k Ω

R_5	100 k Ω
R_6	15 k Ω
R_7	33 k Ω
R_8	270 Ω
R_9	TP 160, 1 M Ω
R_{10}	10 k Ω
R_{11}	470 Ω
R_{12}	390 Ω
R_{13}, R_{14}	220 Ω
R_{15}	5,6 k Ω

R_{16}	1,2 k Ω
R_{17}	TP 160, 1 M Ω
R_{18} až R_{33}	asi 220 Ω (podle citlivosti tyristorů)

Kondenzátory

C_1	TC 215, 470 nF
C_2	TE 003, 10 μ F
C_3, C_{11}	TK 744, 10 nF
C_4	TC 215, 330 nF
C_5	TF 006, 1 mF
C_6, C_7	TE 004, 50 μ F
C_8, C_9	TC 215, 10 nF
C_{10}	TC 988, 1 μ F

Polovodičové součástky

T_1, T_2	KC238
T_3	KC308
IO_1, IO_6	B555D (NDR)
IO_2	74LS132PC (MLR)
IO_3, IO_4, IO_5	MH7400
IO_7, IO_8	MH74164 (74LS164PC)
Ty_1 až Ty_{16}	KT206/600
D_1, D_3 až D_{18}	červená LED
D_2	KY132/150

Ostatní součástky

Po	10 A (pomalá)
Tr_1	mikrofonní transformátor
Tr_2	síťový transformátor

PRAKTICKÁ ELEKTRONIKA

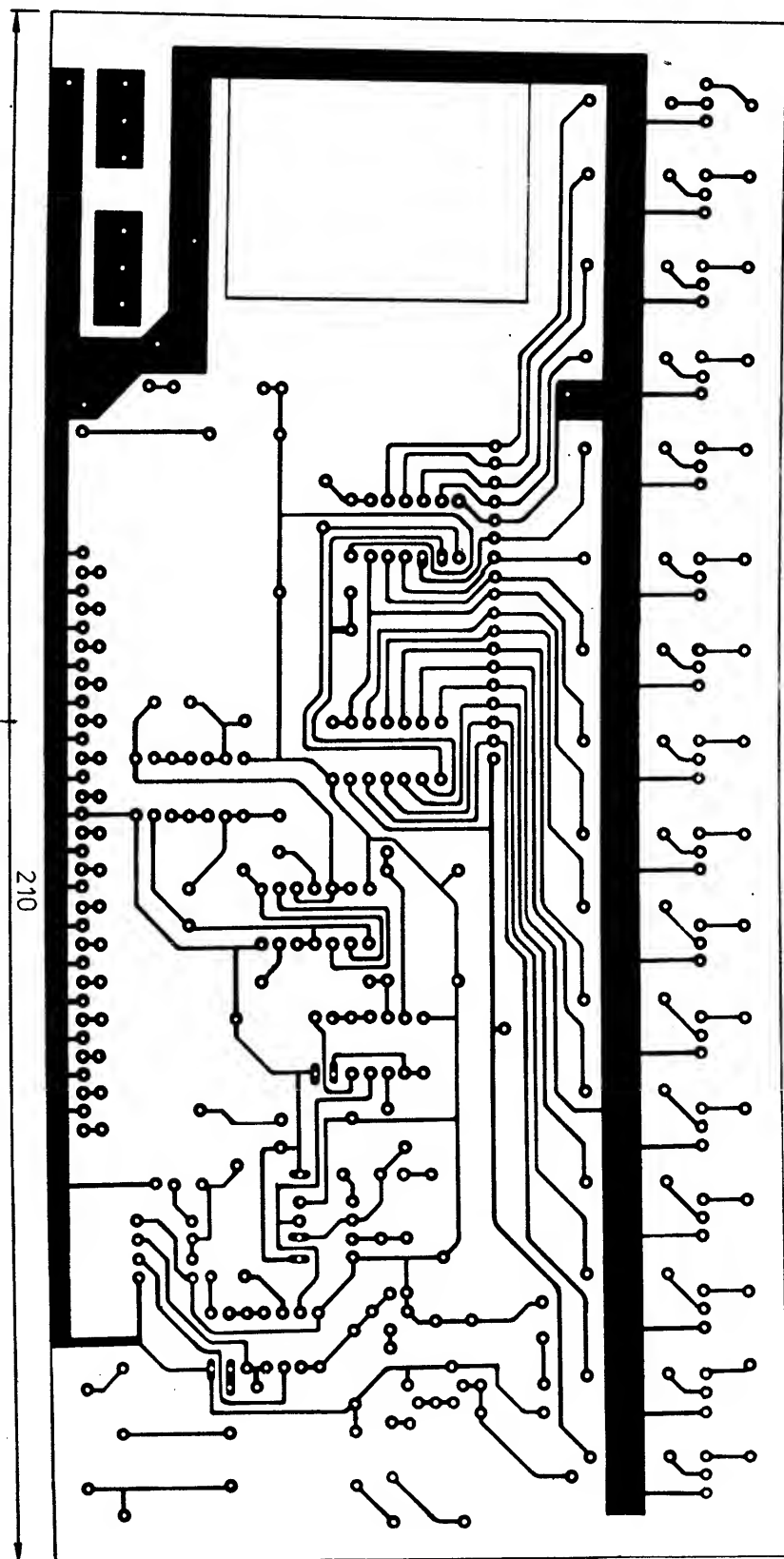
Ing. M. Arendáš

(dokončení z AR B2/90)

Hlukoměr

Měření hlučnosti, intenzity zvuku v dB je poměrně velkým technickým problémem, pokud má být měření opravdu důkladné. Problém spočívá zejména ve skutečnosti, že hluková hladina má v podstatě široké spektrum kmitočtů. Máme-li měřit hluk důkladně, je potřeba jeho spektrální analýza a intenzita se musí měřit při každé harmonické a při základním kmitočtu zvlášť. Každopádně bude hlukoměr poměrně složité zařízení.

U porovnávacích měření se obvykle rozcházejí se subjektivními sluchovými vjemy jak svými, tak jednotlivých posluchačů. Každý zvukař ví, že pokud nastává úroveň zvuků automatika (což je v běžném životě např. automatické vyrovnávání citlivosti, které máme v každém běžném rádiovém přijímači), tak dostaneme rozdíl mezi hudbou a mluveným slovem. Ten pak při poslechu rádia vyrovnáme potenciometrem hlasitosti. Ačkoli máme podle automatiky nastavenou stejnou úroveň signálu, tak se hudba s celou velkou škálou kmitočtů zdá mnohonásobně hlasitější než mluvené slovo hlasatele. Navíc je tento vjem u každého posluchače jiný. Nejenom má každý trochu jinou citlivost na vnímání úrovně zvuku, ale všichni máme citlivost logarit-



Obr. 2. Deska s plošnými spoji a deska osazená součástkami

mickou. Tedy lineárně vnímáme logaritmický přírůstek zvuku. Samozřejmě, že i v tomto směru jsou individuální rozdíly u různých osob. Výrobci rádiových přijímačů nebo zesilovačů to vědí a potenciometr hlasitosti, kterým se přidává intenzita zvuku není lineární, ale logaritmický, což odpovídá individuálnímu vnímání. To vše musíme mít na vědomí,

když začneme někde kontrolovat úroveň zvukového nebo hlukového signálu.

Popisovaný hlukoměr je v podstatě pouze jednoduchým indikátorem. Něco takového jako expozimetr na měření osvětlení pro účely fotografování. Může sloužit zvukaři pro určení hluku pozadí v neznámém sále nebo k podobným orientačním měřením. Lze jej používat

i v průmyslu k měření orientačního hluku strojů, motorů nebo převodovek a převodových ústrojí. Na vstupu má přístroj dynamický mikrofon M (obr. 79). Vazební kondenzátor C_1 a impedanční přizpůsobovací člen, tvořený rezistorem R_1 , převádějí signál na detektor, tvořený diodou D_1 a členem C_2 a R_2 . Srdcem celého zařízení je integrovaný obvod A277D, což je integrovaný analogový spínač světelných diod. Diody se začínají postupně rozsvěcovat podle velikosti stejnosměrného napětí na vstupu 17 tohoto integrovaného obvodu v pořadí od D_2 do D_{13} . Prahovou úroveň svitu diod nastavíme odporovým trimrem R_4 . Úroveň hluku dopadající na mikrofon M způsobuje zvětšení napětí na kondenzátoru C_2 . Čím je toto napětí větší, tím více svítivých diod v řetězci se rozsvítí. Diody jsou seřazeny do tří bloků po čtyřech. Je vhodné, když pro rozlišení úrovně použijeme i tři různé barvy.

Přístroj má napájení +12 V, protože IO A277D má vestavěný stabilizátor napětí, není nutná stabilizace a lze použít napájení z baterie. Odběr přístroje je prakticky určen odběrem LED.

Fotorelé

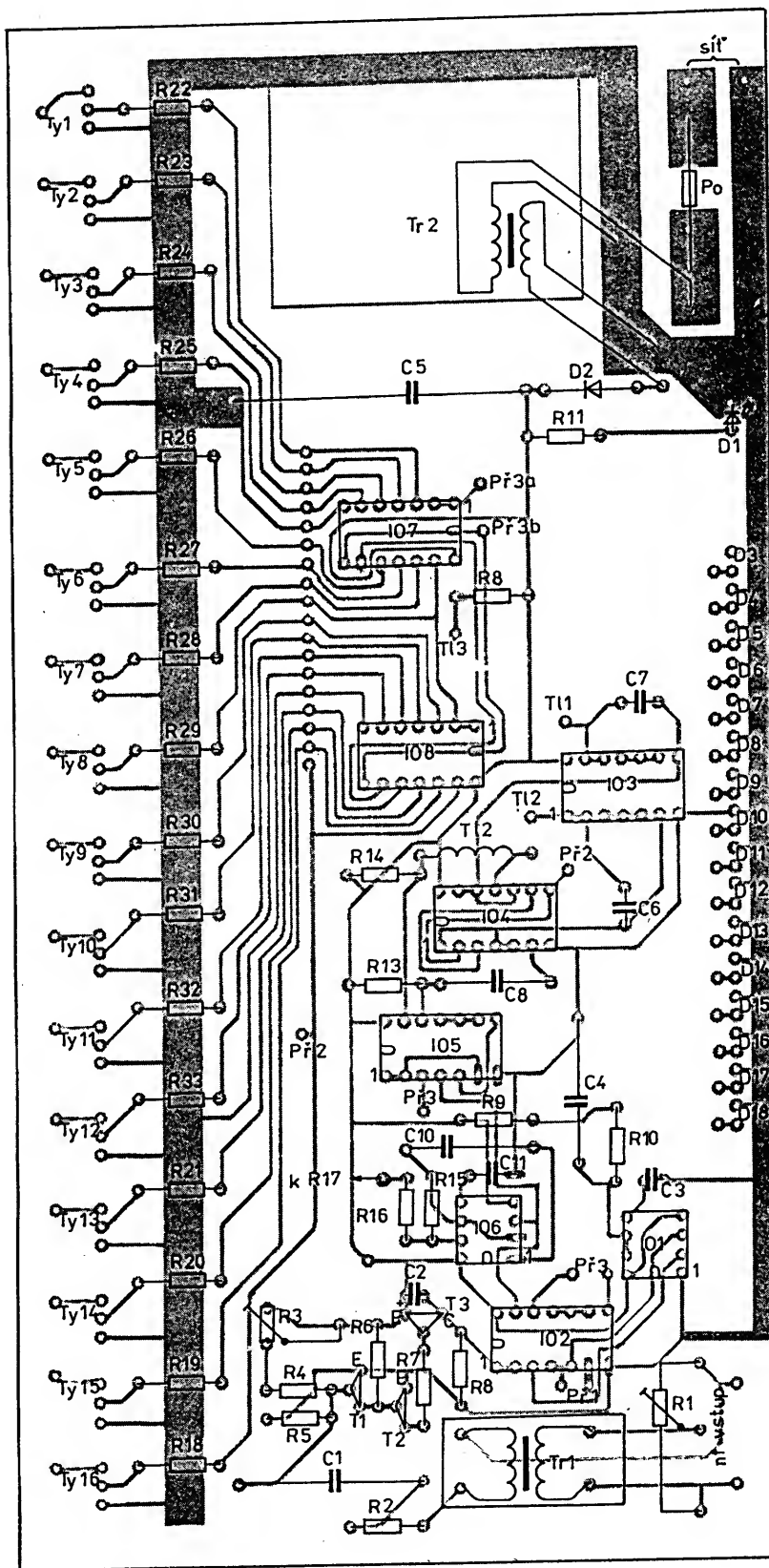
Fotorelé je jednoduché zařízení, určené pro automatické zapínání a vypínání spotřebičů, světla atp. v závislosti na vnějším osvětlení.

Fotorezistor R_1 společně s rezistory R_2 a R_3 (obr. 80) tvoří napěťový dělič, který určuje činnost celého zařízení. Jakmile na fotorezistor dopadne světlo, zmenší se podstatně jeho odpor a na bázi tranzistoru T_1 se zvětší kladné napětí. Tranzistor T_1 se otevře a tranzistor T_2 se naopak uzavře. Kolektorový proud tranzistoru T_2 se blíží k nule. Proud řídící elektrodou triaku T_c je nulový. Triak je uzavřen a spotřebičem neprotéká žádný proud.

Se zmenšováním osvětlení se zvětšuje odpor rezistoru R_1 . Souběžně se zmenšováním kladného napětí na bázi T_1 se tranzistor T_1 uzavírá. Zároveň se otevírá tranzistor T_2 . Zvětšováním úbytku napětí na R_7 se tento proces lavinovitě urychluje. Proud tekoucí tranzistorem T_2 vytváří na rezistoru R_5 úbytek napětí, které otevírá triak. Pokud jdou na svorkách 2 a 3 („SPOTŘEBIČ“) žárovky, tak se rozsvěcují. Samozřejmě je, že jejich světlo nesmí dopadat na fotorezistor, jinak by nastávala nežádoucí zpětná vazba.

Citlivost fotorelé se nastavuje odporovým trimrem R_2 . Rezistor R_3 slouží pro ohraničení proudu děličem při vytočení trimru R_2 na minimální odpor a osvětlení fotorezistoru R_1 maximálním, např. slunečním světlem. Použitý fotorezistor WK 650 037 má při osvětlení 100 lx oproti tmě změnu odporu z 1 MΩ na 2 kΩ.

Tranzistory T_1 a T_2 dostávají napětí dané Zenerovým napětím diody D_1 , tedy asi +22 V. Trubičkovou pojistku zvolíme podle odběru připojeného spotřebiče. Maximální příkon spotřebiče je dán pouze typem použitého triaku. Zapojení pracuje prakticky s každým běžným typem triaku.



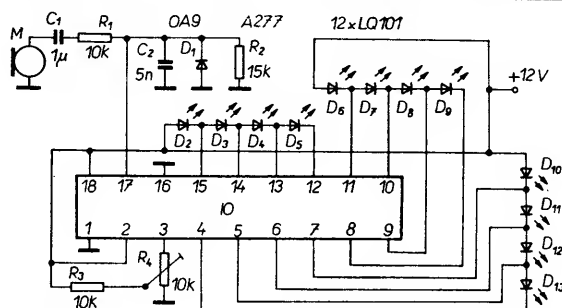
(pájecí body vlevo od IO7 a IO8 slouží k případnému propojení jejich vývodů s R18 až R33 a Ty1 až Ty16, chceme-li je umístit mimo hlavní desku s plošnými spoji, 18žilovým kabelem)

KIKUSUI Oscilloscopes

Superior in Quality,
first class in Performance!

Phoenix Praha A.S., Ing. Havlíček, Tel.: (2) 69 22 906, 43 32 01, 69

EL SINCO



Obr. 79. Hlukoměr

Jednoduchá registrace zazvonění zvonku

Pokud k vám přijde návštěva, obvykle zvoní na dveřní zvonek. Když není nikdo doma, návštěva odejde a vy po příchodu domů nevíte, zda vás chtěl někdo navštívit. Chcete-li mít jistotu, pomůže vám elektronický obvod podle schématu na obr. 81.

Svítilná dioda se rozsvítí tehdy, když byl zvonek během vaší nepřítomnosti použit. V zapojení je jako paměťový prvek využit operační zesilovač. Tento operační zesilovač je napájen z jednoduchého zdvojevače napětí, které získáme z použitého zvonkového transformátoru. Proud protékající diodou D_1 nabíjí kondenzátor C_1 (na kladné napájecí napětí) a kondenzátor C_2 je nabíjen proudem protékajícím diodou D_2 (na záporné napájecí napětí). Rezistory R_3 a R_4 na vstupech operačního zesilovače vytvářejí v klidovém stavu stejná napětí na obou vstupech operačního zesilovače.

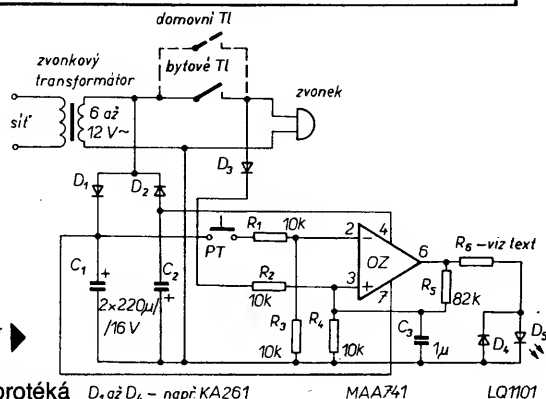
Jakmile je stisknuto tlačítko zvonku TI, připojí se k neinverujícímu vstupu operačního zesilovače přes diodu D_3 kladné půlvlnné impulsy, které způsobí, že napětí na výstupu zesilovače bude kladné.

Obr. 81. Jednoduchá registrace zazvonění zvonku

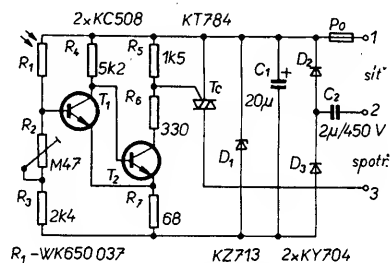
Zpětnovazebním rezistorem R_5 protéká proud, který nabíjí kondenzátor C_3 . Obvod zůstane v nerovnovážném stavu a svítivá dioda bude svítit. Tím nás upozorní na návštěvu.

Rezistor R_6 omezuje proud svítivou diodou asi na 15 mA a jeho odpor závisí na napětí transformátorku. Volíme jej pro napětí na transformátorku rovné 6 V asi 330 Ω a pro napětí 12 V asi 830 Ω a dimenzujeme na 0,5 W.

Jako pomocné tlačítko PT můžeme použít mžikový spínač, nebo jazýčkové relé, které samočinně sepne při otevření dveří.



Obr. 81. Jednoduchá registrace zazvonění zvonku



Obr. 80. Fotorelé

INZERCE



Inzerce přijímá osobně a poštou Vydavatelství Naše vojsko, inzertní oddělení (inzerce ARB), Vladislavova 26, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-9, linka 294. Uzávěrka tohoto čísla byla dne 31. 3. 1990, do kdy jsme museli obdržet úhradu za inzerát. Neopomeňte uvést prodejní cenu, jinak inzerát neuveřejníme.

Text inzerátu pište čitelně, aby se předešlo chybám vznikajícím i nečitelností předlohy. Cena za první řádek činí Kčs 50,- a za každý další (i započatý) Kčs 25,-. Platby přijímáme výhradně na složenkách našeho vydavatelství.

PRODEJ

IFK 120 (60), sov. TELETTEST - gen. TV sign. + multimetr (2200), ruč. m. př. (800), multimetr - U, I, R, f (1200). Vše nové. A. Podhorná, U nádraží 25, 736 01 Havířov-Sumbark.
BFQ69, BFR90, 91, 96, BF961 (186, 48, 55, 58, 46). E. Rádek, Londýnská 7, 120 00 Praha 2.

Sloučené JZD Bánov nabízí

MODUL teletext 89 pro TV s dálkovým ovládáním 423, 425, 416, 430... Funkce teletextu jsou ovládány vysílačem DO, jazyk český a slovenský včetně znamének, anglický a německý, modul se montuje do TV, rozměr 125 x 136 mm, předpokládaná cena 2800 Kčs.

Objednávky přijímá

Sloučené JZD Bánov, stř. 455,
687 54 Bánov u Uherského Brodu - písemně
nebo tel. 0633 - 94 12 11 až 5, linka 31.

MODUL teletext 90 pro TV bez dálkového ovládání např. Oravan, Brožík, Mánes a další, funkce teletextu jsou ovládány vyvedenou klávesnicí, jazyk český a slovenský včetně znamének, anglický, německý, rozměr 125 x 136 mm, předpokládaná cena 3200 Kčs.

STAVEBNÍ návod teletext 89 a teletext 90 včetně desky plošných spojů a mikropočítače MHB8048, předpokládaná cena 350 Kčs.

SADU propojovacích šňůr pro Atari 800 a 130 s tiskárnou BT 100, cena asi 100 Kčs.

Anritsu Instruments

World Leading Measurement Technology
for Telecommunications

Phoenix Praha A.S., Ing. Havlíček, Tel.: (2) 43 32 01, 69 22 906

EL SINCO

BFR91 (40). O. Marek, 751 24 Vinary 190.

MSX Computer 64 kB + tlačiareň, software. Nahrám videokazety z SAT TV. Vymením software pre IBM AT. M. Hausner, RZ Stavbár 185, 966 03 Sklené Teplice.

RAM 41256 (300); 18272 (600); SU 169 (130); U806, U807, A255 (180, 180, 40); KSY71, TR15 (7, 8); Infra-LED (40); krystal 8,86 MHz (120). J. Maráček, Malinovského 98, 831 02 Bratislava.

Nízkošumové širokopásmové zosilňovače 40÷800 MHz osadené BFQ69, BFR91, zisk 24 dB, 75/75 Ω, vhodné pre príjem slabých TV signálov (450). F. Ridarčík, Karpatská 1, 040 01 Košice.

Počítač COMMODORE 128C, datenrecorder 1530 (10 500), diskdrive 1541 (7000), monitor PHILIPS RGB – zelený (5000), tiskárna SEIKOSHA SP180VC (7500), orig. program SUPERBASE 128 s ním. man. (500), dig. multimetr MONACOR (2800), WALKMAN SANYO s radiem (1700). I jednotlivé. V. Průša, Klučinám 12, 130 00 Praha 3, tel. 82 73 29

U806D (85), 8520D (105). M. Lhotský, Gottwaldova 470, 431 51 Klášterec nad Ohří.

KOUPÍM

Osciloskopickou obrazovku B7S2 a prodám osciloskopickou obrazovku 6LO II včetně rástru před obrazovkou (350), krystal 10,7 MHz (50). M. Brachaczek, 739 34 Šenov u Ostravy 547.

Meopta, s. p.

zavádí
malosériovou
výrobu plošných spojů
max. rozměrů
250 × 300 mm
podle
dodaných předloh
pro soukromníky
i organizace

Informace a zakázky:

Meopta s. p.,
Fotochemická lab.,
ing. Místecká,
750 58 Přerov, tel. 54/28 75

TESLA ELTOS

STÁTNÍ PODNIK RADIOSTANICE

– kompletní radiové sítě z BLR

Základní mobilní radiostanice LEN – BM

Složení: radiostanice, síťový zdroj, všesměrová anténa. 1–10 kanálů, výkon 10 W, simplex, 5 tónová volba, norma CCIR, syntezátor, každá rdst identifikována 5místnou adresou. Cena kompletu 10 300 Kčs.

Vozidlová radiostanice LEN – BM s prutovou anténou

Technické parametry jako u základnové rdst. Cena kompletu 8600 Kčs.

Kapesní radiostanice RN 12 B, RN 14 B, RN 16 B

Max. 6 kanálů, výkon 1 W, dle požadavku: 2 W, simplex, možnost použití několika druhů mikrotelefonů – potom je možná přímá volba, skupinová nebo jen generální. Cena kompletu včetně zdroje antény 6740 až 8470 Kčs.

Pracovní kmitočtové rozsahy u radiostanic: 33–58 MHz, 73–84 MHz, 146–174 MHz.

Uvedené ceny jsou informativní dle kursu převoditelného rublu. Zajistíme vám poradenskou službu, projektovou dokumentaci, dodávku do 9 měsíců, montáž, servis.

Informace na telefonu: Pardubice 442 09, Praha 42 50 82

Naše adresa: TESLA ELTOS s. p., DIZ (Dodavatelsko – inženýrský závod), ul. J. Potůčka 250, 530 09 Pardubice.

ÚSTAV TECHNICKEJ KYBERNETIKY

Slovenská akadémia vied Bratislava

výskumno-vývojová jednotka

ponúka na predaj

tieto moduly do osobných počítačov typu IBM PC a kompatibilných:

PSA – paralelný a sériový adaptér, 1 × Centronics, 1 × RS232C (V.24/V.28), CL 20 mA (prúdová slučka)

OSA – štvornásobný sériový adaptér, 4 × RS232C (V.24/V.28), rozšírená adresácia, zdieľateľné prerušenie

SCA 3270 – synchronný komunikačný adaptér na prepojenie sálkových počítačov IBM (EC), komunikačný protokol BSC emuluje následovné zariadenia IBM: 3274 – 51 C, 3278 – 2, 3279 – 2A, 3287

IMS2PC – plne funkčný adaptér na pripojenie zariadení so zbernicou IMS-2 (IEC 625.1. IEEE 488, GPIB, HP – IB) k počítačom typu IBM PC, PC/XT, PC/AT, PS/2 (modely 25 a 30) ako aj kompatibilným. Umožňuje zdieľať prerušenia a je kompatibilný s NI GPIB – PCII/PCIIA, IBM GPIB a mnohými ďalšími.

Objednávky adresujte na:

Úsek experimentálnej výroby ÚTK SAV VVJ
Dúbravská 9, 842 37 Bratislava
tel. 378 29 97